



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH VÝROBY VAKUOVÉ FORMY PRO TVÁŘENÍ
PLASTŮ**

PRODUCTION CONCEPT OF VACUUM MOLD FOR PLASTIC FORMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Tišnovský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jakub Tišnovský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby vakuové formy pro tváření plastů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce se bude zabývat návrhem a výrobou formy dle zadaného CAD modelu. Práce bude obsahovat teoretický rozbor technologie třískového obrábění, na kterou bude navazovat návrh konstrukce tvaru formy ve 3D parametrickém softwaru SolidWorks. Praktická část práce se bude zabývat výrobou formy z dřevovláknité desky (MDF) technologií třískového obrábění. Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením včetně rozboru navrženého řešení.

Cíle bakalářské práce:

1. Teoretická část (rozbor technologie třískového obrábění).
2. Praktická část (návrh a výroba formy).
3. Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246s. 2009. ISBN 978-80-2-4-4025-8.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-21-1996-2.

AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

VLÁČILOVÁ H., VILÍMKOVÁ, M., HENCL, L. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 1. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2006. 319s. ISBN 80-251-1314-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Vakuové tváření plastů je jednou z metod zpracování termoplastických hmot. V této technologii se využívá změny fyzikálních a mechanických vlastností termoplastu při zahřátí do plastického stavu. Pro výrobu výlisků je ale nutná forma, která bude tvarovat zahřátý termoplast. Výhodou této technologie je fakt, že forma není tak výrobně náročná a je tedy výrazně levnější než forma pro vstřikování plastů. Cílem této práce bylo navrhnout výrobu formy. Návrh byl vyřešen pomocí softwarů SolidWorks a PowerMill. Výroba byla uskutečněna na CNC tříosé frézce. Hlavním výsledkem této práce je návod, který lze využít při návrhu jiných forem pro vakuové tváření termoplastů.

Klíčová slova

Obrábění, frézování, SolidWorks, PowerMill, MDF, vakuové tváření.

ABSTRACT

Vacuum plastic forming is method of thermoplastic material treatment. This method uses physical and mechanical changes caused in material during his heating. Production of final product requires mould. The main advantage of this technology is fact, that manufacturing of mould is not so hard as manufacturing of mould for injection moulding, so mould is significantly cheaper. Main purpose of this thesis is to propose production concept of this mould. Proposal was solved by SolidWorks and PowerMill software and manufacturing was realized on 3-axis CNC milling machine. Main result of this thesis is a summary of instructions which can be used in proposes of different moulds for vacuum plastic forming.

Key words

Machining, milling, SolidWorks, PowerMill, MDF, vacuum forming.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TIŠNOVSKÝ, J. *Návrh výroby vakuové formy pro tváření plastů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D., za ochotu a cennou pomoc při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině za umožnění studia na vysoké škole a za podporu během studia. Zvláštní dík patří především mému otci Liborovi Tišnovskému za samotnou možnost vypracování této práce a nespočet rad a připomínek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **NÁVRH VÝROBY VAKUOVÉ FORMY PRO TVÁŘENÍ PLASTŮ** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jakub Tišnovský

OBSAH

ABSTRAKT	3
PODĚKOVÁNÍ	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 TECHNOLOGIE TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ	9
1.1 Základní účastníci a pojmy obráběcího procesu	9
1.1.1 Obrobek	9
1.1.2 Řezný nástroj	10
1.1.3 Tříska	11
1.1.4 Kinematika řezného procesu.....	12
1.2 Technologie soustružení.....	13
1.2.1 Řezný nástroj	13
1.2.2 Materiály soustružnických nožů	14
1.2.3 Soustruhy	15
1.3 Technologie frézování.....	15
1.3.1 Řezný nástroj	17
1.3.2 Upínání nástrojů a obrobků.....	17
1.3.3 Frézky	18
2 PRAKTICKÁ ČÁST	19
2.1 Vyráběná součást	19
2.2 Konstrukce formy v softwaru SolidWorks	20
2.3 Tvorba polotovaru.....	22
2.3.1 Dělení materiálu.....	22
2.3.2 Příprava polotovaru.....	22
2.4 Výroba formy.....	23
2.4.1 Hrubovací operace	25
2.4.2 Před-dokončovací operace	26
2.4.3 Dokončovací operace.....	32
2.5 Lakování formy	39
2.6 Vrtání odvzdušňovacích kanálků	40
3 TECHNICKO-EKONOMICKÝ ROZBOR	41
3.1 Cena formy.....	41
3.1.1 Cena materiálu	41

3.1.2	Cena lepidla	41
3.1.3	Cena obrábění	42
3.1.4	Cena pryskyřice	42
3.1.5	Cena ručních prací	42
3.1.6	Výpočet ceny formy.....	42
3.2	Ekonomické porovnání výrobních variant	43
ZÁVĚR		44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		46

ÚVOD

Vakuové tažení plastů je technologie tepelného zpracování termoplastů. Využívá se při ní změny fyzikálních a mechanických vlastností termoplastu při jeho ohřevu. Díky změně vlastností je termoplast snadno tvarovatelný a zároveň při následném ochlazení znovu získává své původní vlastnosti. Tato vlastnost umožňuje vyrábět tvarově složité součásti velice snadno, a proto využití této technologie stále roste. Rostoucí výroba ale znamená rostoucí poptávku po dodavatelích forem, které jsou nezbytné a zároveň pro každý výlisek jedinečné. Tyto formy zároveň musí splňovat řadu poměrně specifických vlastností, na které musí být dodavatel připraven. To výrazně zužuje množství potenciálních dodavatelů.

Cílem této bakalářské práce je tedy popsat postup výroby dané formy, a tím poukázat na některé již zmíněné specifické vlastnosti. Dle této bakalářské práce by si čtenář měl udělat obrázek o postupu výroby, a pokud má zkušenosti s prací v použitých softwarech a s používáním CNC strojů, měl by být schopen formu podobné složitosti vyrobit.

Tato bakalářská práce byla vypracována ve spolupráci s firmou Libor Tišnovský. Z důvodu zachování firemního know-how nebudou některé aspekty výroby detailněji popsány. Také vyráběná součást nebude detailněji popisována, neboť se jedná o skutečný díl, který teprve bude použit v automobilovém průmyslu.

1 TECHNOLOGIE TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

Technologie třískového obrábění je vědní obor, který se zabývá podmínkami při oddělování částic materiálu břitem nástroje. Proces oddělování částic materiálu se nazývá obráběcí proces. Obráběcího procesu se účastní obráběný materiál (obrobek) a nástroj. Technologie třískového obrábění zahrnuje metody soustružení, frézování, vrtání, broušení, hoblování a obrážení [1].

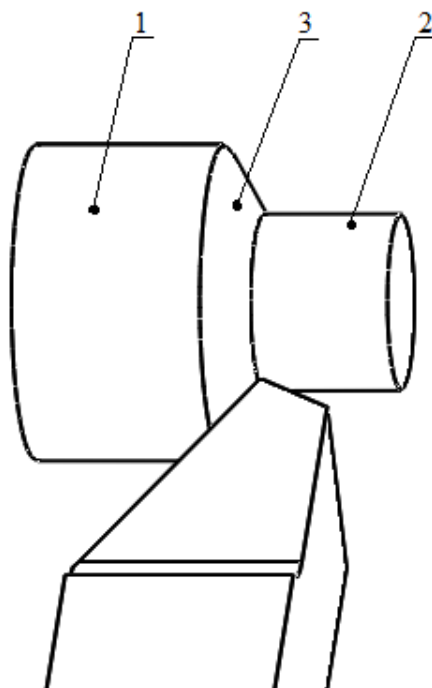
1.1 Základní účastníci a pojmy obráběcího procesu

1.1.1 Obrobek

Obrobek je objekt obráběcího procesu definovaný materiálem, rozměry, strukturou povrchu, fyzikálními vlastnostmi, chemickými vlastnostmi, povrchovou úpravou apod. [1-4].

Vzájemná interakce obrobku a nástroje v obráběcím procesu vytváří na obrobku 3 typy ploch (viz obr 1.1):

- 1 – obráběnou plochu,
- 2 – obrobenou plochu,
- 3 – přechodovou plochu.



Obr. 1.1 Základní plochy na obrobku [3].

Obrobená plocha je výstupem obráběcího procesu a je určena rozměry, tvarem, polohou, strukturou povrchu a vlastnostmi povrchové vrstvy.

1.1.2 Řezný nástroj

Řezný nástroj je prvek obráběcího procesu, který v interakci s obrobkem zajišťuje odebrání částic obrobku, a tím realizuje řezný proces. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří [1-5].

Prvky nástroje

Těleso je část nástroje, na které byly vytvořeny nebo upnuty elementy ostří (obr. 1.2, bod 1) [1, 3, 4].

Stopka je část nástroje určená pro upnutí nástroje do stroje [1, 3, 4].

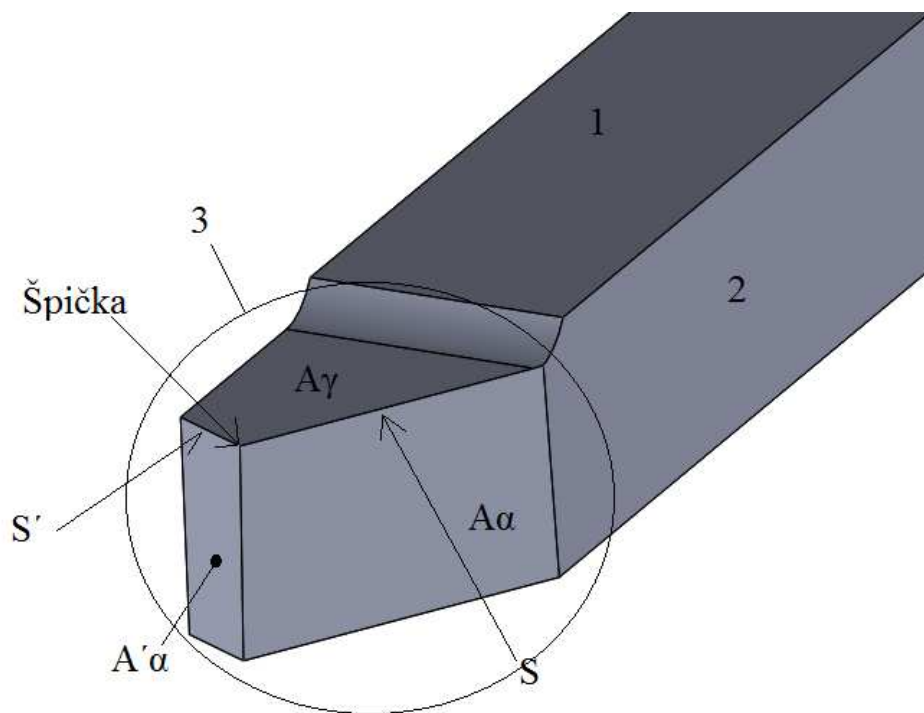
Upínací dírou nástroje nazýváme souhrn vnitřních ploch, určených pro nastavení a upnutí nástroje [1, 3, 4].

Osa nástroje je teoretická přímka s definovaným geometrickým vztahem ke stanovenému povrchu. Používá se při výrobě, ostření a upnutí nástroje. Obecně je osa nástroje totožná se středovou čarou stopky nebo upínací díry nástroje. [1, 3, 4].

Řeznou částí nástroje se nazývá funkční část, která obsahuje prvky tvořící třísku – ostří, čela a hřbet (obr. 1.2, bod 3). U vícebřitých nástrojů má každý břit svou řeznou část [1, 3, 4].

Základna je plochá část stopky nástroje, která bývá rovnoběžná nebo kolmá k základní rovině nástroje (obr. 1.2, bod 2). Základna slouží k umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě, kontrole a ostření [1, 3, 4].

Břit je část řezné části nástroje, ohraničená čelem a hřbetem nástroje [1, 3, 4].



Obr. 1.2 Soustružnický nůž [1].

Plochy nástroje

Plochy řezné části nástroje se označují symbolem skládajícím se z písmene **A** a z indexu řecké abecedy, který určuje druh plochy. Plochy označené symbolem s čárkou značí plochy vedlejšího ostří [1, 3, 4, 5].

Čelo A_γ je plocha, po které odchází tříska. Pokud je čelo tvořeno několika protínajícími se plochami, značí se tak, že se k indexu připojí pořadové číslo, postupně od ostří (obr. 1.2) [1, 3, 4, 5].

Hřbet A_α je plocha, která při řezném procesu směřuje k ploše obrobku. Pokud je hřbet tvořen několika protínajícími se plochami, značí se tak, že se k indexu připojí pořadové číslo, postupně od ostří (obr. 1.2) [1, 3, 4, 5].

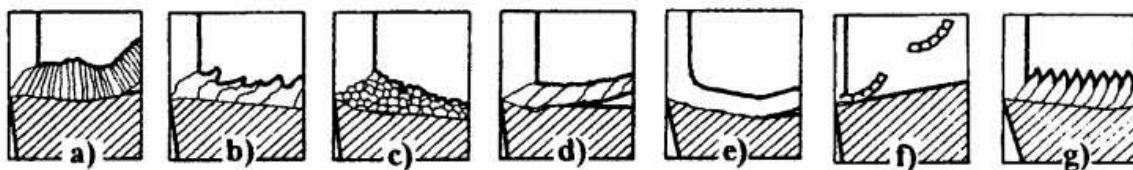
Ostří nástroje

Ostří je část řezné části nástroje, která realizuje proces řezání. Ostří se značí písmenem **S** a dle vztahu k vytvoření přechodové plochy na obrobku jej lze dělit na **Hlavní ostří S** a **Vedlejší ostří S'** . **Pracovním hlavním ostřím S_e** a **Pracovním vedlejším ostřím S_e'** se nazývá ta část ostří, která začíná v bodě, kde je pracovní úhel nastavení hlavního ostří roven nule. **Aktivní ostří** je ta část ostří, která aktuálně realizuje proces řezání. **Špička** je část ostří, nacházející se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří [1, 3, 4, 5].

1.1.3 Tříska

Třísky představují vedlejší produkt řezného procesu. Ačkoliv jsou třísky vedlejším produktem, při popisu řezného procesu mají významnou roli, neboť jejich technologické a energetické charakteristiky významně vypovídají o průběhu procesu řezání. Třísky také s narůstající cenou materiálu začínají mít významný ekonomický vliv a při výrobě je nutné zvážit, nebude-li pro ekonomiku podniku výhodnější třísky zpracovávat a následně prodávat, než jen recyklovat [1-4].

Významnou technologickou charakteristikou třísek je jejich tvar (viz obr. 1.3), který závisí na průběhu řezného procesu.



Obr. 1.3 Typy třísek [3].

1.1.4 Kinematika řezného procesu

Hlavní pohyb – vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem realizovaný strojem. Při soustružení je hlavním pohybem rotační pohyb obrobku, při frézování rotační pohyb nástroje (viz obr. 1.4, označení v_c) [1-5].

Posuvový pohyb v_f – pohyb realizovaný strojem, který umožňuje společně s hlavním pohybem úběr třísky (viz obr. 1.4, označení v_f). Posuvový pohyb může být postupný, nebo plynulý. Při některých procesech není posuvový pohyb potřebný (protahování). Posuvový pohyb v_f lze spočítat dle vztahu (1.1) [1-5].

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.1)$$

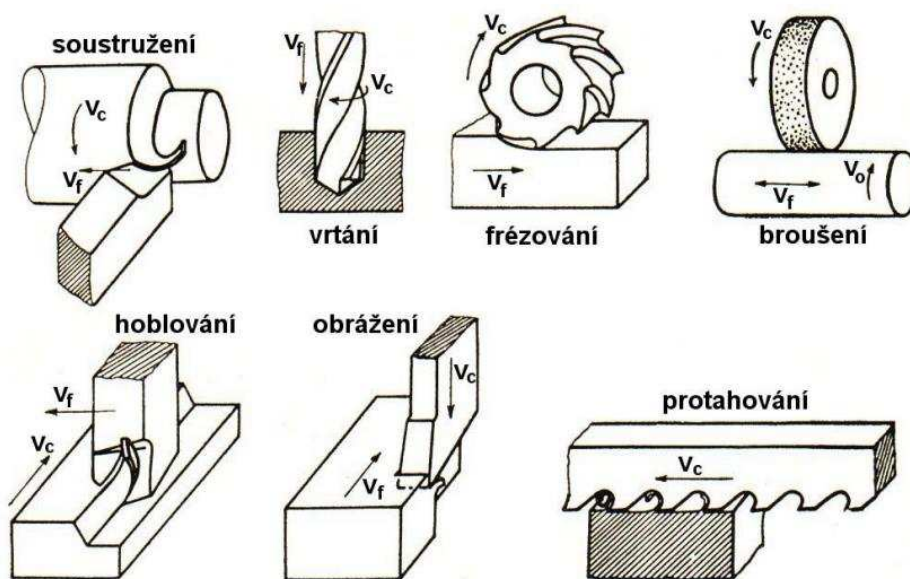
Kde: f – posuv na otáčku obrobku [mm],

n – otáčky obrobku [min^{-1}].

Řezná rychlost v_c – okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku. Řeznou rychlost v_c lze spočítat dle vztahu 1.2 [1-5].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2)$$

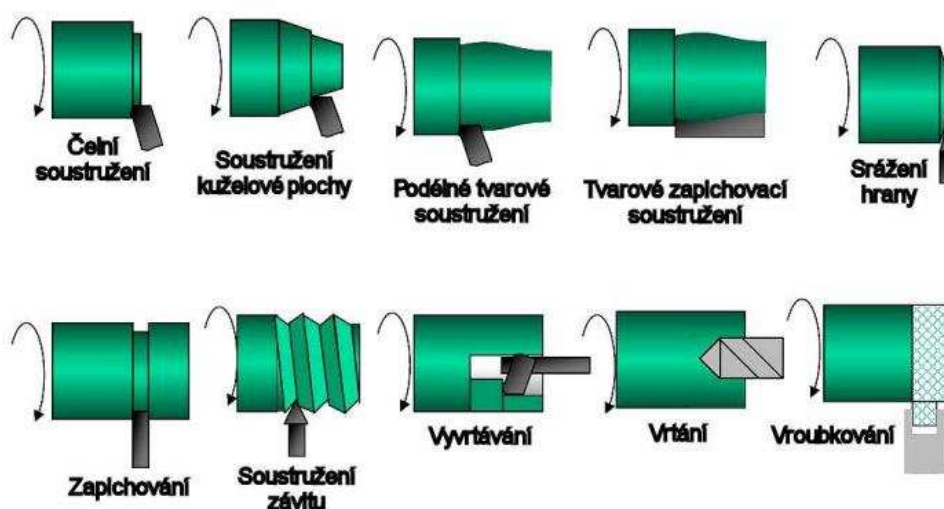
Kde: D – průměr obrobku u soustružení, průměr vrtáku u vrtání, apod [mm].



Obr. 1.4. Znázornění hlavních a posuvových pohybů [3].

1.2 Technologie soustružení

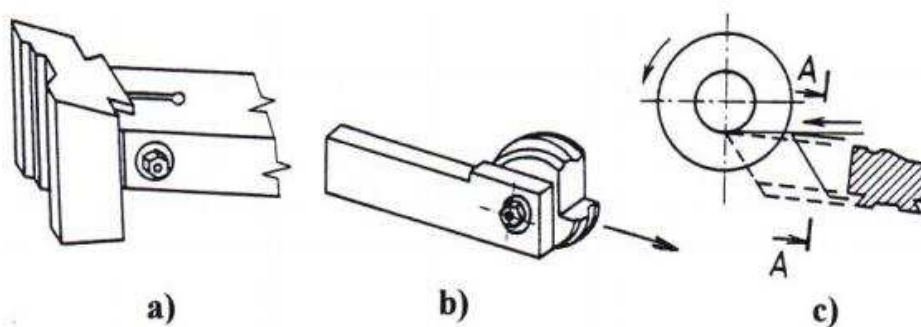
Soustružení je jedna z nejstarších metod obrábění (známá už v 19. století) a určená k výrobě součástí rotačních tvarů. K soustružení se většinou používají jednobřité nástroje různého provedení. Obrobkem je převážně tyčový materiál, odlitek, nebo výkovek. Soustružením lze vyrábět rotační plochy, ale také kužele, obecné tvary, lze jimi řezat závity, vrtat atd. viz obr. 1.4. Hlavní pohyb je rotační a je konán obrobkem. Posuvový pohyb je přímočarý a koná jej nástroj (viz obr. 1.5). Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici a při čelním soustružení po Archimedově spirále [1, 3, 4].



Obr. 1.5 Způsoby soustružení [3].

1.2.1 Řezný nástroj

Nejčastěji využívaným nástrojem při soustružení je soustružnický nůž v různých provedeních. Z technologického hlediska lze soustružnické nože dělit na **radiální**, **prizmatické** (obr. 1.6, var. a), **kotoučové** (obr. 1.6, var. b) a **tangenciální** (obr. 1.6, var. c). Nejpoužívanější variantou je radiální provedení, které je schematicky znázorněno na obr. 1.1. Radiální nože lze následně dělit v závislosti na konstrukci na nože **celistvé**, **s pájenými břitovými destičkami** a **s vyměnitelnými břitovými destičkami**; dle směru posuvového pohybu na nože **pravé** a **levé**; dle způsobu obrábění na nože pro obrábění **vnějších ploch** a **vnitřních ploch** a dle tvaru tělesa nože na **přímé** a **ohnuté** [1-4].



Obr. 1.6 Druhy nožů [3], a) prizmatický, b) kotoučový, c) tangenciální soustružnický nůž.

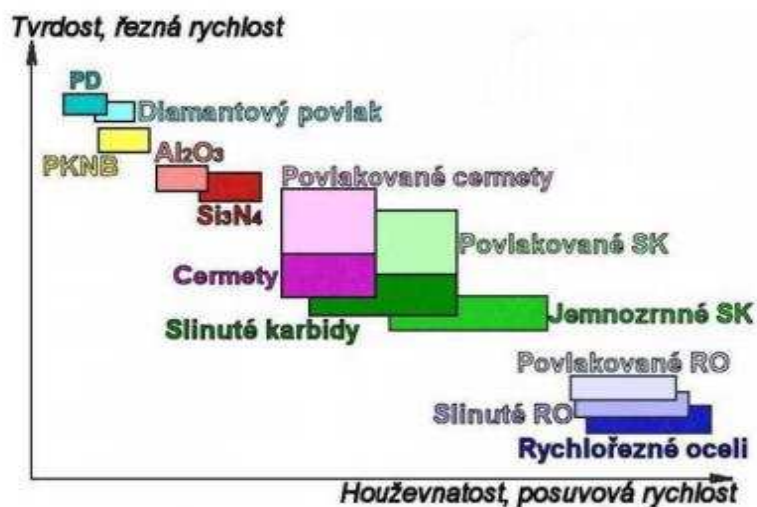
1.2.2 Materiály soustružnických nožů

Materiály soustružnických nožů je základním prvkem určujícím trvanlivost břitu, jelikož je nejvíce namáhanou součástí soustavy stroj-nástroj-obrobek. Z toho důvodu je už od dob průmyslové revoluce kladen velký důraz na vývoj nových a lepších materiálů, které by zvýšily výkonnost obrábění. Materiál, a nástroj z něj vyrobený, musí vykazovat stálost za vysokých teplot, které při procesu řezání vznikají, musí mít vysokou pevnost v ohybu, tepelnou vodivost, houževnatost, odolnost proti otěru a vyšší tvrdost než obráběný materiál. Vlastnosti nástrojových materiálů jsou uvedeny na obr. 1.7 [1-5].

Jelikož nejvíce namáhanou částí soustružnického nože je pouze břit, nikoliv celý nástroj, je ekonomicky i technicky výhodnější nevyrábět celý nástroj z jednoho materiálu, ale tělo nástroje vyrobít z materiálu s dobrou pevností v ohybu a houževnatostí a břit z jiného materiálu, který vykazuje vysokou odolnost proti otěru a vysokou tvrdost. Z tohoto důvodu se začalo využívat těla z oceli a břitu ze slinutého karbidu, cermetu, řezné keramiky nebo supertvrdeho materiálu, dodaného nástroji v podobě vyměnitelné břitové destičky. Vyměnitelné břitové destičky jsou na tělo připevněny buď tvrdou pájkou, nebo mechanicky. Mechanické připevnění je výhodnější, neboť při otupení nástroje umožňuje výměnu pouze destičky, nikoliv celého nože [1-5].

Druhy materiálů

- Nástrojové oceli:
 - nelegované,
 - legované.
- Slinuté karbidy:
 - Skupina K (WC + Co),
 - Skupina P (WC + TiC + Co),
 - Skupina M (WC + TiC + TaC.NbC + Co),
 - Skupina N,
 - Skupina S,
 - Skupina H.
- Cermety
- Řezná keramika:
 - oxidová keramika,
 - nitridová keramika.
- Supertvrde materiály:
 - polykrystalický diamant,
 - polykrystalický kubický nitrid bóru.



Obr. 1.7 Vlastnosti řezných materiálů [6].

1.2.3 Soustruhy

Soustružnické stroje představují největší podíl obráběcí techniky v obráběcích provozech a jsou vyráběny ve velkém množství konfigurací. Soustruhy lze dělit dle konstrukčně-technologického hlediska na *hrotové* (obr. 1.8), *revolverové*, *svislé*, *speciální* a dle stupně automatizace na ovládané *ručně*, *poloautomatické* a *automatické* [2-4].



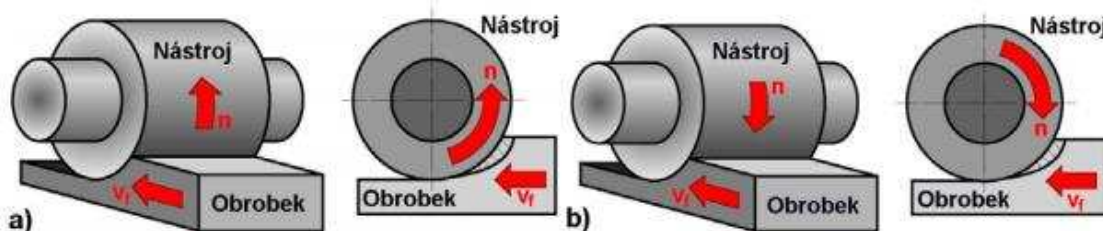
Obr. 1.8 Univerzální hrotový soustruh firmy TRENDSK, a.s. řady SN 32 [7].

1.3 Technologie frézování

Frézování je metoda obrábění, během které je materiál obrobku odebrán břity rotujícího nástroje. Posuvový pohyb nejčastěji vykonává obrobek a to ve směru kolmém na osu nástroje. Řezný proces je přerušovaný, tzn. že každý zub frézy odebrá krátké třísky proměnné tloušťky. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a jsou realizovány ve všech směrech. Také může být u moderních frézovacích

strojů rozdílná konstrukce oproti klasickým strojům, kdy z důvodu rychlosti posuvu nekoná posuv většinou těžký obrobek, ale nástroj [1-4].

Z technologického hlediska lze rozlišovat frézování **válcové** (obr. 1.9) a **čelní**.



Obr. 1.9 Válcové frézování [3].

Jak je patrné z obr. 1.9, ačkoliv v případě **a** i **b** se jedná o frézování válcové, proces úběru třísky není stejný. Pokud zub nástroje ve variantě **a** začíná odebírat materiál, odebírá ho od nejmenšího průřezu třísky po největší a ve variantě **b** naopak. To samozřejmě mění kinematiku obráběcího procesu a je třeba tyto varianty rozlišovat. Z toho důvodu byly zavedeny pojmy **sousedné** (var. b) a **nesousedné** (var. a) frézování.

Sousedné frézování je frézování, při kterém je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vniku zubu frézy do materiálu obrobku a obrobená plocha je vytvářena při odchodu zubu ze záběru. Jelikož záběr začíná při maximální tloušťce třísky, směr rotace nástroje je ve směru posuvu obrobku, ale obvodová rychlost zubu je vyšší než rychlost posuvu, vznikají při sousledném frézování síly, jejichž výslednice má složky směrem do stolu a ve směru posuvu. Složka výslednice ve směru posuvu tedy napomáhá obrobku v pohybu a vzniká posunutí celého stolu o velikost vůle posuvového šroubu a matice stolu. Vzniká tedy nestejnomořný posuv, při kterém se zhoršuje kvalita povrchu obrobku a může dojít k poškození nástroje a stroje. Proto je nutné k souslednému frézování využívat předpětí posuvového šroubu, nebo stroje, které mají vedení bez vůle (stroje s kuličkovými šrouby) [1, 2].

Výhody sousledného frézování:

- vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu stroje, lze tedy použít jednodušší způsob upínání,
- menší sklon k tvorbě nárůstku na břitu nástroje,
- lepší kvalita obrobeného povrchu.

Nesousedné frézování je frézování, při kterém je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Při řezu břitu nástroje vzniká tříska postupně od nejmenšího průřezu až po největší a obrobená plocha vzniká při vniku nástroje do materiálu. K oddělování třísky

nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitů po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitů nástroje. Výslednice těchto silových účinků má složku směřující nahoru od stolu a způsobuje odtahování obrobku od stolu [1, 2].

Výhody nesousledného frézování:

- trvanlivost nástroje není ovlivněna vadami povrchu obrobku (okuje, slévárenský písek, apod.),
- není třeba vymezovat vůli mezi posuvovým šroubem a maticí stolu,
- záběr zubů frézy při jejich vniku do materiálu nezávisí na hloubce řezu.

1.3.1 Řezný nástroj

Vzhledem k různorodému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě se využívá mnoho typů fréz, které lze v závislosti na jejich technologickém uplatnění třídit dle následujících charakteristik [1-4]:

Dle umístění zubů – frézy válcové (mají zuby na válcové ploše), čelní (mají zuby na čelní ploše), válcové čelní (mají zuby na čelní i válcové ploše).

Dle materiálu zubů – frézy z rychlořezné oceli, slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky, KNB a PKD.

Dle provedení zubů – frézy s frézovanými zuby, frézy s podsoustruženými zuby.

Dle směru zubů – frézy se zuby přímými a frézy se zuby ve šroubovici.

Dle počtu zubů – frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé.

Dle konstrukčního uspořádání – frézy celistvé, s vloženými noži a frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Dle geometrického tvaru funkční části – frézy válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, radiusové, na výrobu ozubení atd.

Dle způsobu upnutí – frézy nástrčné a stopkové.

Dle smyslu otáčení – frézy pravořezné a levořezné.

1.3.2 Upínání nástrojů a obrobků

Upínání nástrojů lze rozdělit na upínání nástrčných nástrojů a nástrojů se stopkou, která bývá kuželová nebo válcová. Nástroje se upínají do upínacího kužele pracovního vřetena. Upínací kužel může být buď metrický s kuželovitostí 1:20, nebo Morse 1:19 až 20, nebo strmý 1:3,5. Metrický i Morse kužel jsou samosvorné a přenášejí krouticí moment z vřetena na nástroj. Aby byl přenos krouticího momentu dokonalý, má konec vřetena obdélníkové vybrání, do něhož zapadá zploštělý nákrček na konci frézovacího trnu. Strmý kužel pouze středí trn ve vřetenu, krouticí moment se přenáší dvěma kameny upevněnými na čele vřetena [1-4].

Nástrčné nástroje se upínají na frézovací trny, což je speciální tyč upravená k tomu, aby na ni šel pomocí rozpěrných kroužků ustanovit v potřebné poloze nástroj a aby samotný frézovací trn šel upnout do vřetena stroje. Frézovací trny rozdělujeme na krátký a dlouhý. Dlouhý frézovací trn se od krátkého liší tím, že na druhé straně od vřetene je podepřen ložiskem a využívá se pro vertikální frézky [1-4].

Frézy s kuželovou stopkou se upínají přímo do upínacího kužele vřetena frézky. Pokud se kužel frézy neshoduje s kuzelem vřetena, využívá se redukčních pouzder [1-4].

Frézy s válcovou stopkou se upínají do vřetena frézky při použití sklíčidla a upínacího pouzdra. V současné době se také frézy upínají pomocí speciálních tepelných, nebo hydraulických upínačů [1-4].

Tepelné upínače využívají tepelné roztažnosti materiálů k upnutí nástroje. Upínač je vyroben s otvorem menším než upínaný průměr nástroje a za pokojové teploty do něj nástroj nelze vložit. K upínání se využívá speciálního elektrického zařízení, které nahřeje upínač. Nahřátý upínač se díky zvýšené teplotě roztáhne a lze do něj vložit nástroj. Po zchlazení se upínač opět vrátí do původní velikosti a tím dokonale upne nástroj [1-4].

U hydraulických upínačů je nástroj upnut v upínači díky tření, které vzniká mezi nástrojem a upínačem v důsledku deformace upínače stlačenou kapalinou. Hydraulický upínač je dutý a obsahuje kapalinu v okolí pouzdra pro nástroj. Kapalina je stlačena např. šroubem, narůstá v ní tlak a díky nestlačitelnosti kapaliny je tlak přenášen na pouzdro, které se deformuje a upíná nástroj. Po uvolnění šroubu tlak klesá a nástroj se znovu uvolňuje [1-4].

1.3.3 Frézky

Frézovací stroje se nazývají frézky a jsou vyráběny ve velkém množství modelů a velikostí. Zpravidla se člení do těchto základních skupin:

Konzolové frézky

Základní částí těchto strojů je výškově přestavitelná konzola, na které je pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem. Konzolové frézky jsou vhodné pro výrobu menších a středně velkých výrobků v kusové a malosériové výrobě. Vyrábějí se jako vodorovné, svislé a univerzální [1-4].

Stolové frézky

Stolové frézky se liší od konzolových tím, že nemají výškově přestavitelnou konzolu, ale pouze podélný a příčný stůl. Svislý pohyb koná vřeteník po vedení stroje. Jsou určeny pro výrobu rozměrnějších a těžších součástí [1-4].

Rovinné frézky

Rovinné frézky jsou nejvýkonnějším druhem frézek. Mají robustní konstrukci a umožňují obrábět rozměrné a těžké obrobky. U rovinných frézek koná pracovní stůl jen pohyb ve vodorovném směru. Rovinné frézky mohou mít i více vřeteníků [1-4].

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Vyráběnou součástí byla forma pro vakuové tváření plastů, která byla objednána objednavatelem od firmy Libor Tišnovský.

Objednavatel poskytl 3D model hotového dílu z plastu, který musí být na formě vyrobitelný. V rámci objednávky bylo tedy nutné zkonstruovat formu, která splňuje technologické požadavky pro tváření plastů, a tuto formu následně vyrobit. Ke konstrukci byl použit 3D parametrický software SolidWorks. 3D model formy byl poté naimportován do CAM softwaru PowerMill, kde byly vygenerovány dráhy pro výrobu formy z polotovaru, kterým byl zvolen kvádr. Vygenerované dráhy byly použity na CNC frézce. Obrobená forma byla následně ručně obroušena, nalakována pro lepší mechanické vlastnosti a poté opět obroušena. Tím byla forma hotová a byla připravena k expedici.

Výrobek bude sloužit k lisování plastů pro testovací sérii. Testovací série je vyráběna za účelem odzkoušení výroby a ověření funkčnosti dílů.

2.1 Vyráběná součást

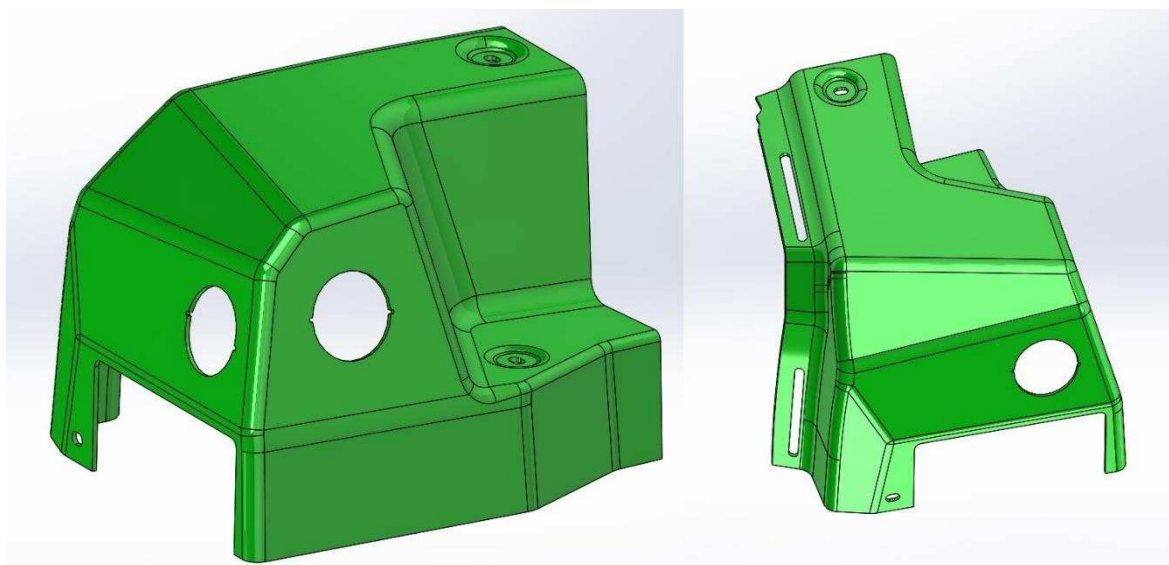
Vyráběnou součástí byla forma, na které se bude lisovat plastový kryt, který bude použit v automobilovém průmyslu (viz obr. 2.1).

Jelikož tento kryt bude vyroben z plastu technologií vakuového tváření, bylo nutné, aby forma, na které bude vyráběn, splňovala technologické požadavky. Těmi jsou zejména:

- forma musela být v měřítku větší o 0,8 % z objemu z důvodu smrštění plastu při chlazení,
- plochy formy musely pokračovat nejméně 20 mm za ořezovou hranu výsledné součásti z důvodu možného ztenčení stěny nebo zvlnění na okrajích výtažku,
- vytvářené plochy formy za ořezovou hranou měly mít minimální sklon 3° z důvodu vytvoření deformačního zpevnění v materiálu.

Zároveň bylo třeba při výrobě formy dbát na omezení, která stanovují funkční rozměry stroje a nástrojové vybavení firmy. Tedy:

- pracovní oblast stroje je maximálně 2300 × 1200 × 650 mm,
- forma neměla obsahovat žádné plochy, které nelze vyrobit na tříosé frézce,
- maximální délka vyložení nástroje byla 130 mm.

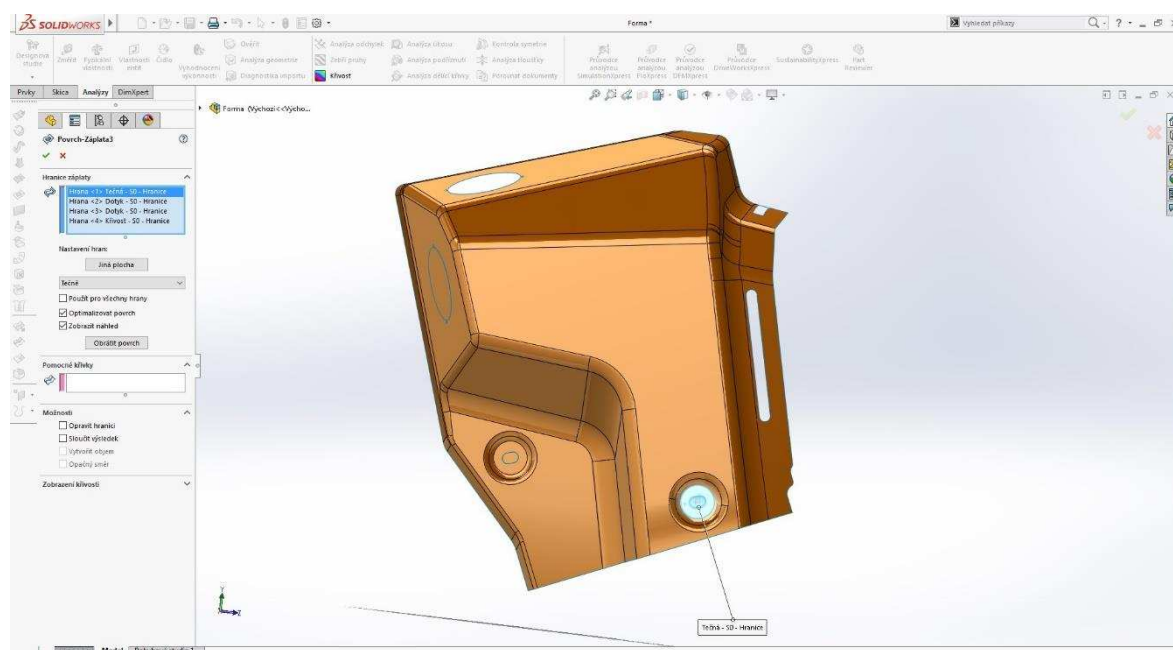


Obr. 2.1 Liso vaný plastový kryt.

2.2 Konstrukce formy v softwaru SolidWorks

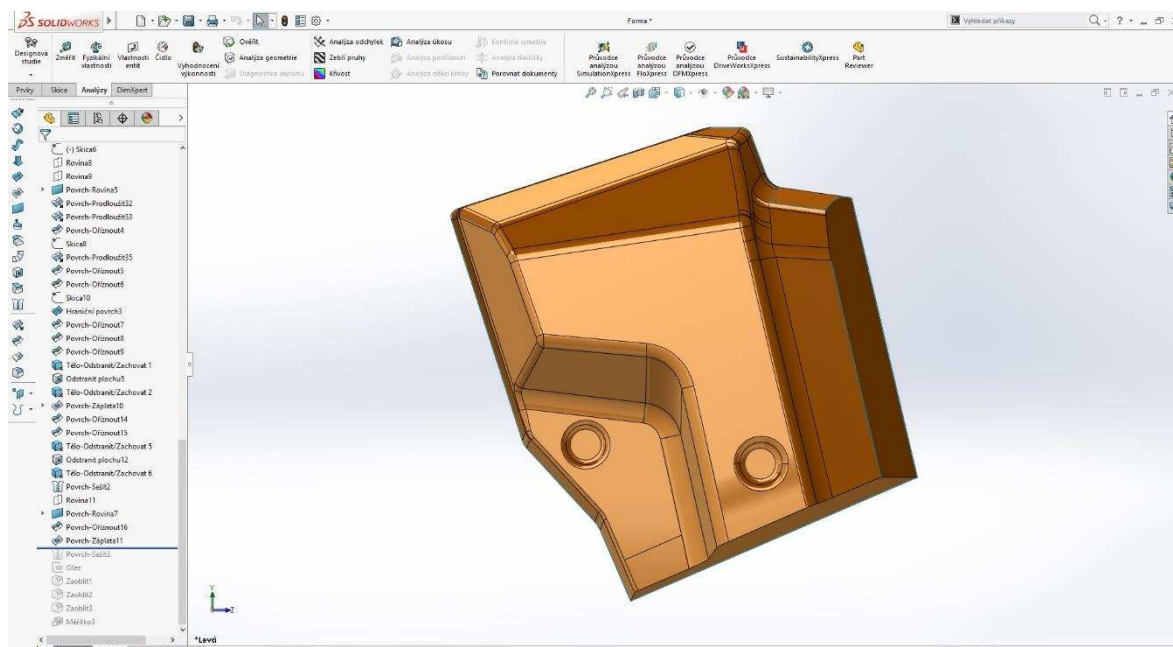
Při konstrukci formy bylo vycházeno z plošného modelu dodaného objednavatelem. Tento plošný model představoval základní tvar modelu, který následně byl upraven dle již dříve zmíněných technologických podmínek.

Jelikož plošný model zahrnoval i tloušťku plastu po vylisování, bylo nutné odstranit přebytečné plochy a ponechat jen „vnitřní“ plochy modelu. Díry v těchto plochách byly následně vyplněny pomocí funkce Záplata a nastavením přechodových hran na tečné (obr. 2.2). Z takto připravených ploch bylo možné začít tvořit tvar formy.



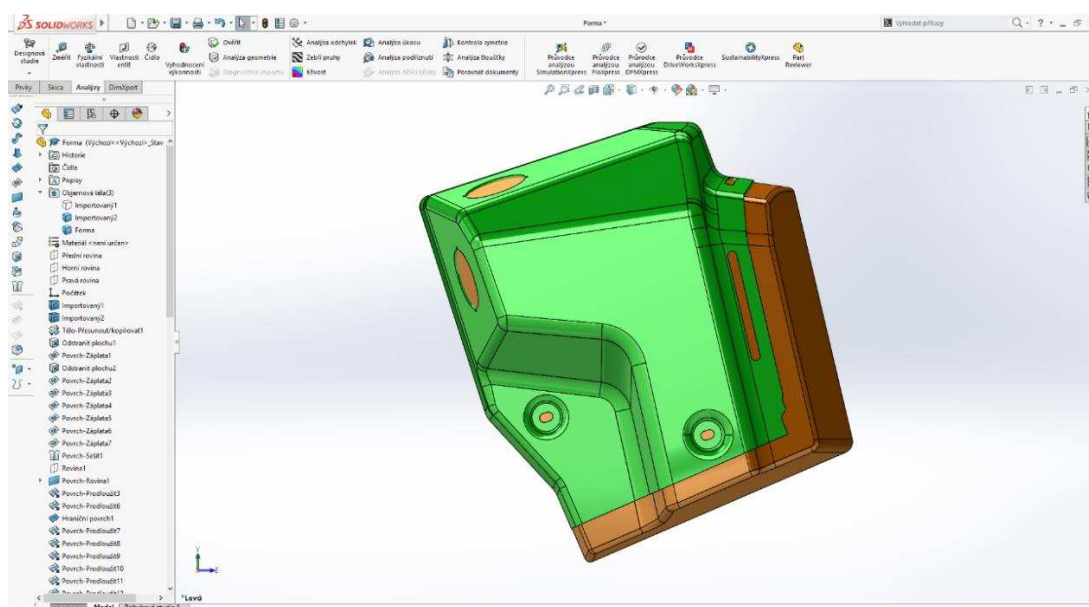
Obr. 2.2 Záplatování.

Jednou z technologických podmínek bylo, že plochy formy musely pokračovat nejméně 20 mm za ořezovou hranu. Proto tedy bylo nutné v této vzdálenosti vytvořit rovinné plochy se sklonem alespoň 3°. K nim byly pomocí příkazu *Prodloužit povrch* vytáhnuty krajní plochy a následně těmito plochami byly rovinné plochy ořezány. Vzniklo tedy povrchové tělo tvaru dle obr. 2.3.



Obr. 2.3 Plochy formy.

Výsledné povrchové tělo bylo z hlediska práce s povrchy hotovo. Proto bylo převedeno na objemové tělo pomocí příkazu *Sešít povrchy* s označeným příkazem *Vytvořit objem*. Forma byla dohotovena zaoblením vzniklých hran na poloměr alespoň 5 mm a jejím zvětšením o 0,8 % dle těžiště. Hotová forma se zobrazeným výliskem tedy vypadala dle obr. 2.4.



Obr. 2.4 Hotová forma.

2.3 Tvorba polotovaru

Jelikož vyráběná forma je určena pouze k výrobě testovací série, byla zvolena za vhodný materiál dřevovláknitá deska (MDF) namísto v běžné výrobě používaného hliníku.

Dřevovláknité desky jsou vyráběny z třísek měkkého dřeva, které jsou dále zpracovány a spolu s voskem a pryskyřicí za vysokého tepla a tlaku slisovány do podoby desek. Ačkoliv se dřevovláknité desky používají zejména k výrobě nábytku a při navrhování interiérů, při pokrytí lakem dokáží snést vysoké teploty a spolu s jejich dostatečnou pevností se stávají ideální variantou materiálu pro formy, které jsou určeny pro výrobu pouze několika desítek součástí [8].

2.3.1 Dělení materiálu

Dřevovláknité desky jsou do firmy dodávány v rozměrech $2750 \times 1840 \times 18$ mm. Bylo tedy nutné desky nařezat na příslušnou velikost před následným lepením. Řezání desek bylo provedeno na svislé vertikální pile. Bylo nařezáno 15 desek o rozměrech 380×350 mm.

2.3.2 Příprava polotovaru

Nařezané desky bylo nutné slepit k vytvoření potřebného objemu polotovaru. K lepení bylo použito polyuretanové lepidlo. Po nanesení lepidla na všechny potřebné desky byl polotovar pro vytvrzení a dokonalé slepení na 24 hodin umístěn do lisu. Polotovar je možné vidět na obr. 2.5. Výsledné rozměry polotovaru byly $380 \times 350 \times 270$ mm.



Obr. 2.5 Polotovar.

2.4 Výroba formy

Volba stroje

Ze strojního vybavení firmy byla vybrána tříosá CNC frézka SAHOS Sprint FC 2300 – M. Stroj je vybaven speciálním přípravkem pro ruční natáčení vřetene.

Tab. 2.1 Parametry frézky [9].

Rozměry:		Pracovní rozměry:			
Délka	4 160 mm	Pracovní stůl:	2 300 x 1 200 mm		
Šířka	2 800 mm	Pracovní zdvih:	X	Y	Z
Výška	3 300 mm		2 300 mm	1 200 mm	650 mm
Pohon:		Elektropřípojka:			
Maximální rychlost v ose X		62 m.min ⁻¹	Příkon		15 kW
Maximální rychlost v ose Y		62 m.min ⁻¹			
Maximální rychlost v ose Z		25 m.min ⁻¹			
Krouticí moment motoru X osy		5,3 Nm			
Krouticí moment motoru Y osy		3 Nm			
Krouticí moment motoru Z osy		3 Nm			
Výkon motoru frézovacího agregátu		7,5 kW			
Otáčky frézovacího agregátu		1 000 až 18 000 min ⁻¹			



Obr. 2.6 CNC Frézka.

Řezné nástroje

S ohledem na aktuální stav nástrojů ve firmě byly k obrábění vybrány nástroje uvedené v tab. 2.2. Nástroje jsou dvoubřité s hlubší drážkou pro lepší odvod třísek. Stopkové frézy č. 1 a 2 jsou zobrazeny na obr. 2.7, kde jsou již upnuty v kleštinových upínačích ISO 30.

Tab. 2.2. Řezné nástroje.

Parametr Název	D_n e8 [mm]	d_n h6 [mm]	l [mm]	L [mm]	h [mm]	Materiál	Číslo nástroje
Stopková válcová fréza	16	16	80	150	125	SK (TiCN)	1
Stopková kulová fréza	16	16	80	150	130	SK (TiCN)	2
Stopková kulová fréza	10	10	40	95	60	SK (TiCN)	3
Rýsovací jehla		4		40	30	SK (TiCN)	4

Kde: D_n – průměr břitů frézy [mm],

d_n – průměr stopky frézy [mm],

l – délka ostří frézy [mm],

L – celková délka frézy [mm],

h – délka vyložení frézy z kleštinového upínače [mm].



Obr. 2.7 Stopkové frézy, a) stopková kulová fréza $D = 16$ mm, b) stopková kulová fréza $D = 16$ mm.

Řezné podmínky

Řezné podmínky při frézování byly voleny dle zkušeností s výrobou forem z MDF desek, jelikož žádný výrobce nástrojů nedodává doporučené podmínky pro frézování MDF nebo jiného podobného materiálu.

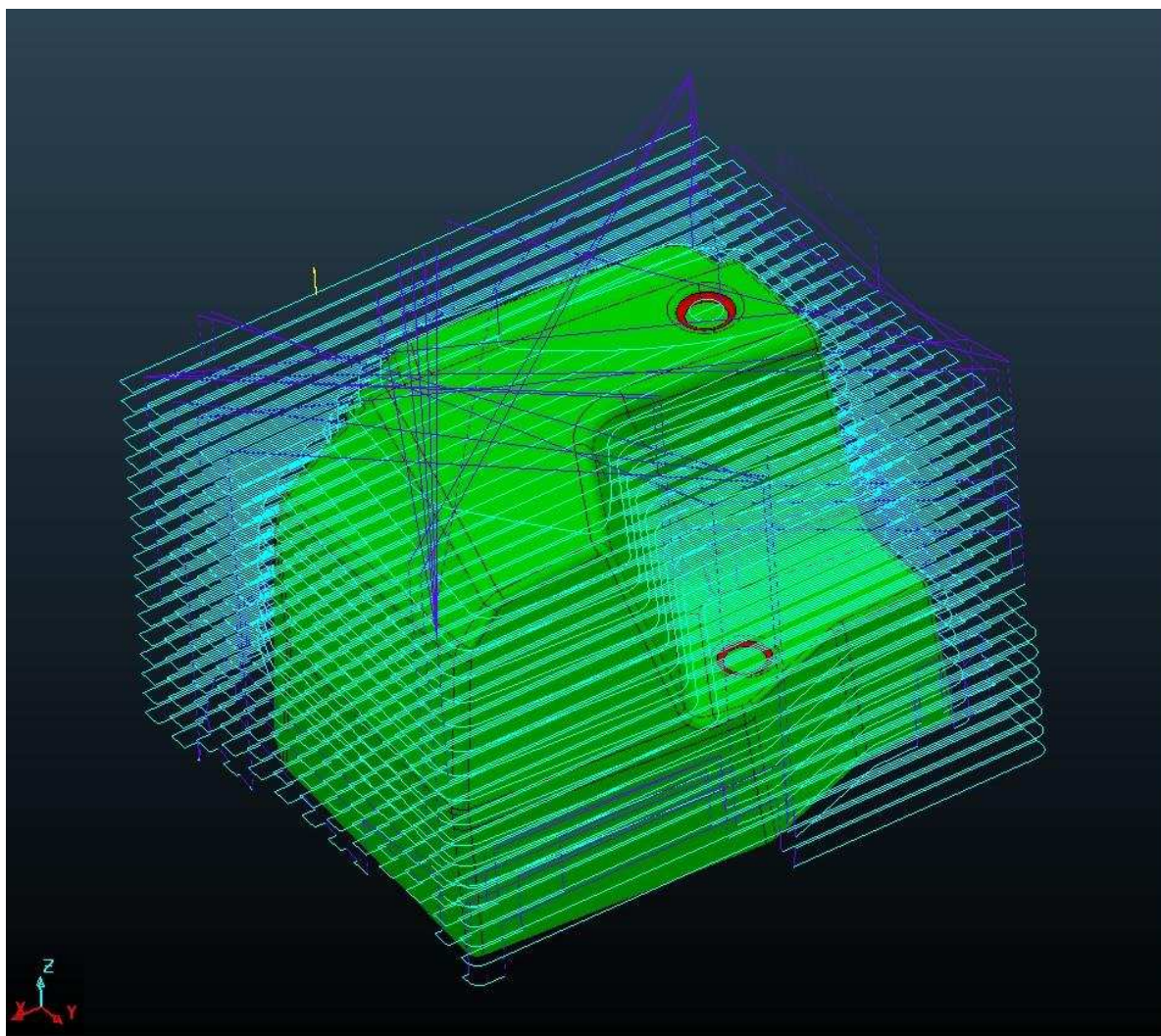
2.4.1 Hrubovací operace

Před začátkem obrábění bylo nutné polotovar upnout na stole frézky. Polotovar byl tedy přišroubován k přidavné desce, která byla za pomoci upínek upnuta na pracovním stole frézky.

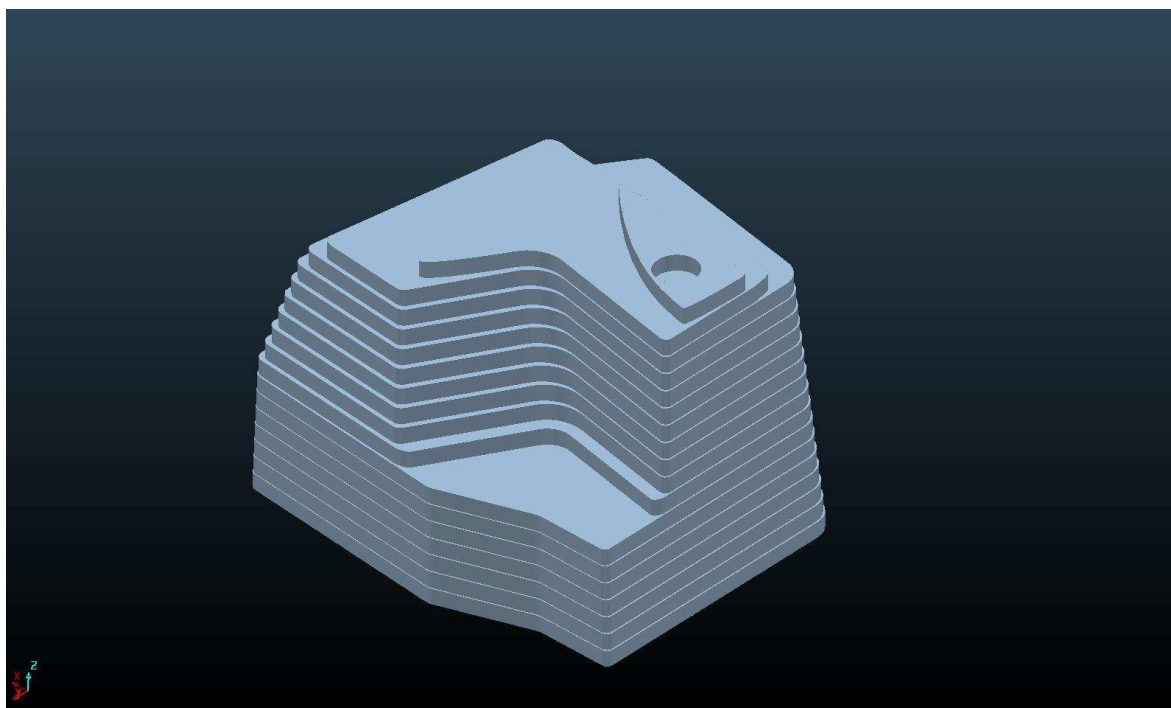
V první operaci bylo nutné odebrat přebytečný materiál obrobku a vytvořit předběžný tvar součásti. Toho bylo docíleno strategií „Hrubování modelu“ z nabídky strategií softwaru PowerMill. Řezné podmínky byly nastaveny dle tab. 2.3. Dráhy nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.8 a zbytkový materiál na obr. 2.9.

Tab. 2.3. Řezné podmínky při hrubování.

Přídavek [mm]	Krok [mm]	Krok v ose Z [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Rychlost posuvu [mm/min]	Nástroj
1,5	14,5	15	10 000	9 500	1



Obr. 2.8 Hrubování.



Obr. 2.9 Zbytkové plochy po hrubování.

2.4.2 Před-dokončovací operace

Po dokončení hrubování vznikl tvar s přídavkem a výraznými schody, protože při hrubování byla použita fréza s rovným čelem. Pokud by následovala dokončovací operace, vznikla by nepřesná forma z důvodu odtažení nástroje obráběným materiálem. Proto byla za hrubovací operaci zařazena před-dokončovací operace. Cílem této operace bylo snížit přídavek na hodnotu, při které již nebude nástroj ohýbán, a odstranit schody vzniklé hrubováním.

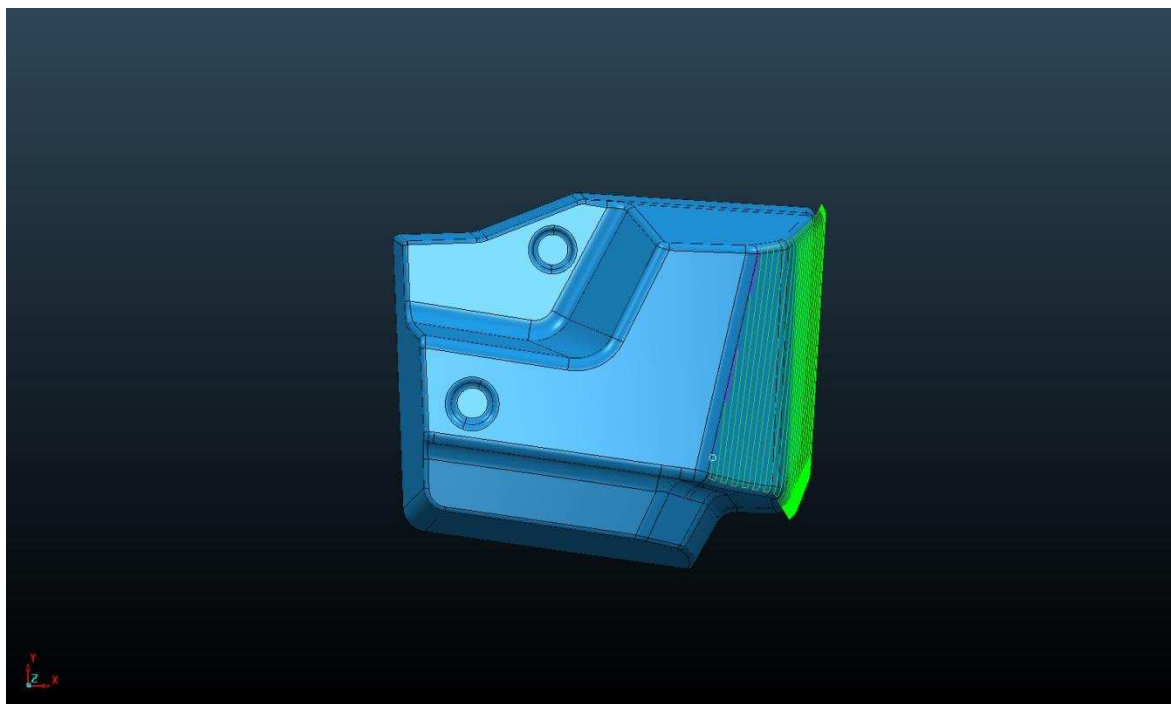
Jelikož se na součásti nacházely mělké i strmé plochy, nebylo již možné použít jednu strategii na celý obrobek, ale bylo nutné před-dokončení rozdělit na frézování mělkých ploch strategií „Dokončení řádkováním“ a strmých ploch strategií „Dokončení v hladině Z“. Zároveň již nebylo možné obrábět celý tvar najednou, ale bylo nutné obrábět jednotlivé strany zvlášť, protože výška součásti je větší než maximální vyložení nástrojů. Proto bylo nutné využít speciální přípravek pro ruční natáčení vřetene a proto byla strategie „Dokončení v hladině Z“ rozdělena na více částí pro každé natočení hlavy vřetene. Z důvodu zachování firemního „know-how“ nebude přípravek více popsán.

Před-dokončení strmých ploch

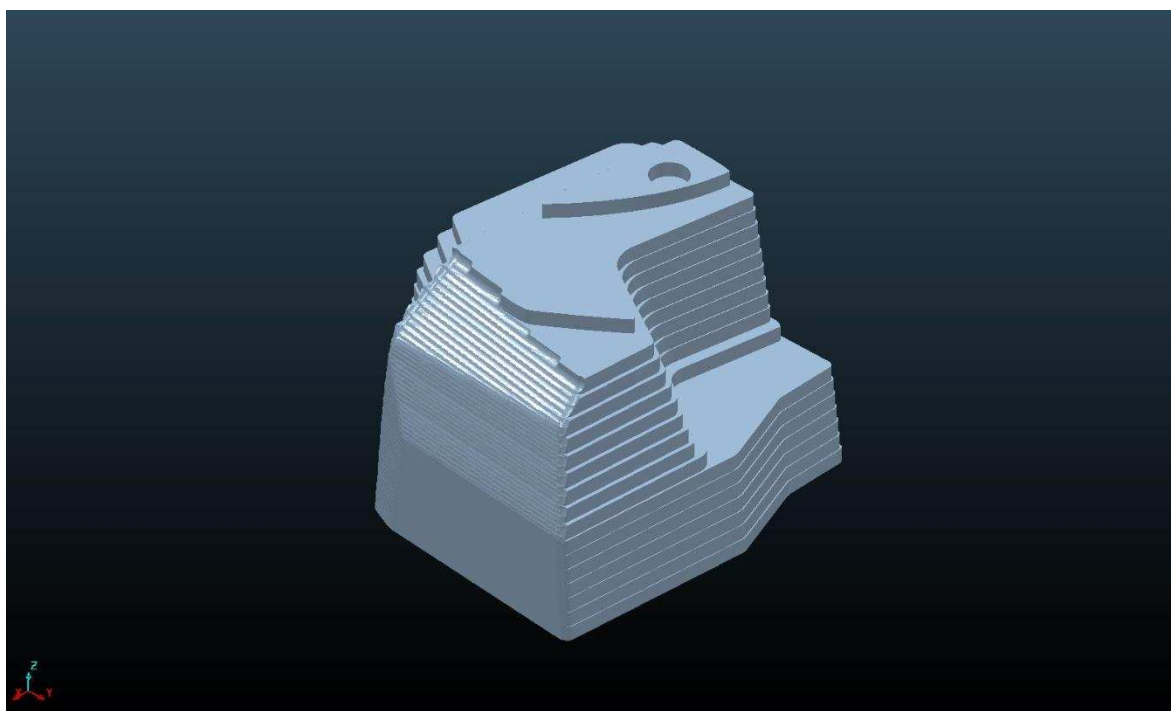
Pro před-dokončení strmých ploch byly nastaveny řezné podmínky dle tab. 2.4. Dráhy nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.10, obr. 2.12, obr. 2.14 a obr. 2.16. Zbytkový materiál na obr. 2.11, obr. 2.13, obr. 2.15 a obr. 2.17.

Tab. 2.4. Řezné podmínky při před-dokončování šikmých ploch.

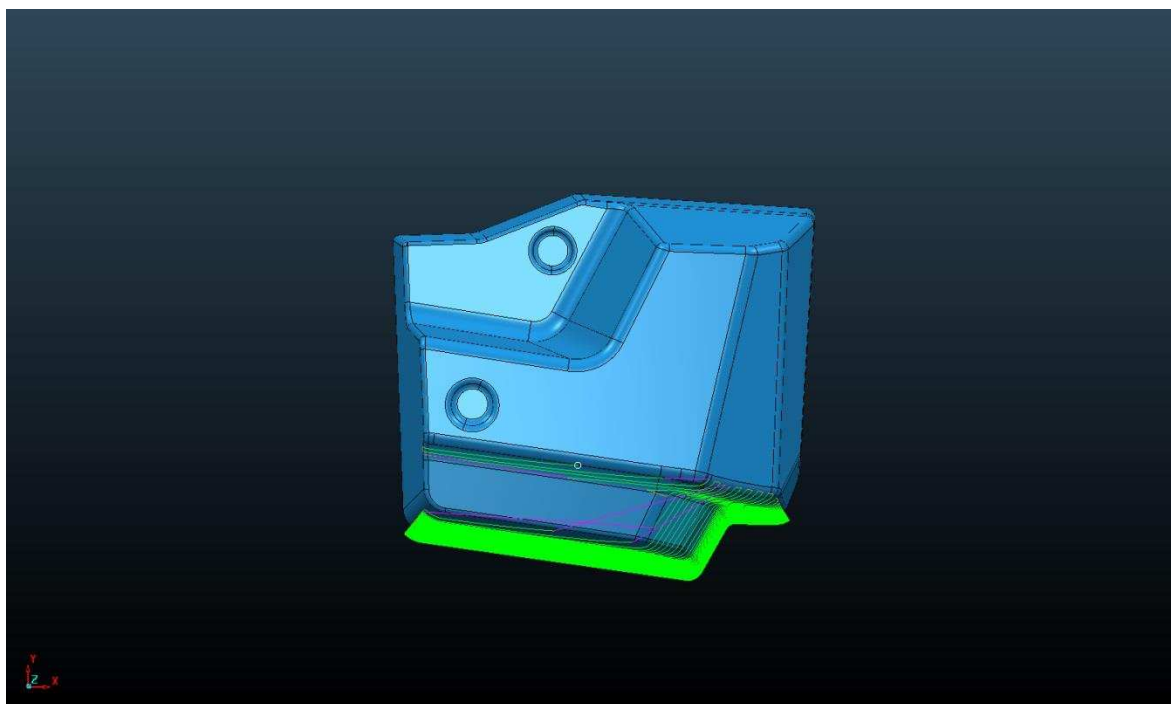
Přídavek [mm]	Krok [mm]	Krok v ose Z [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Rychlost posuvu [mm/min]	Nástroj
0,8	-	4,2	10 000	9 500	2



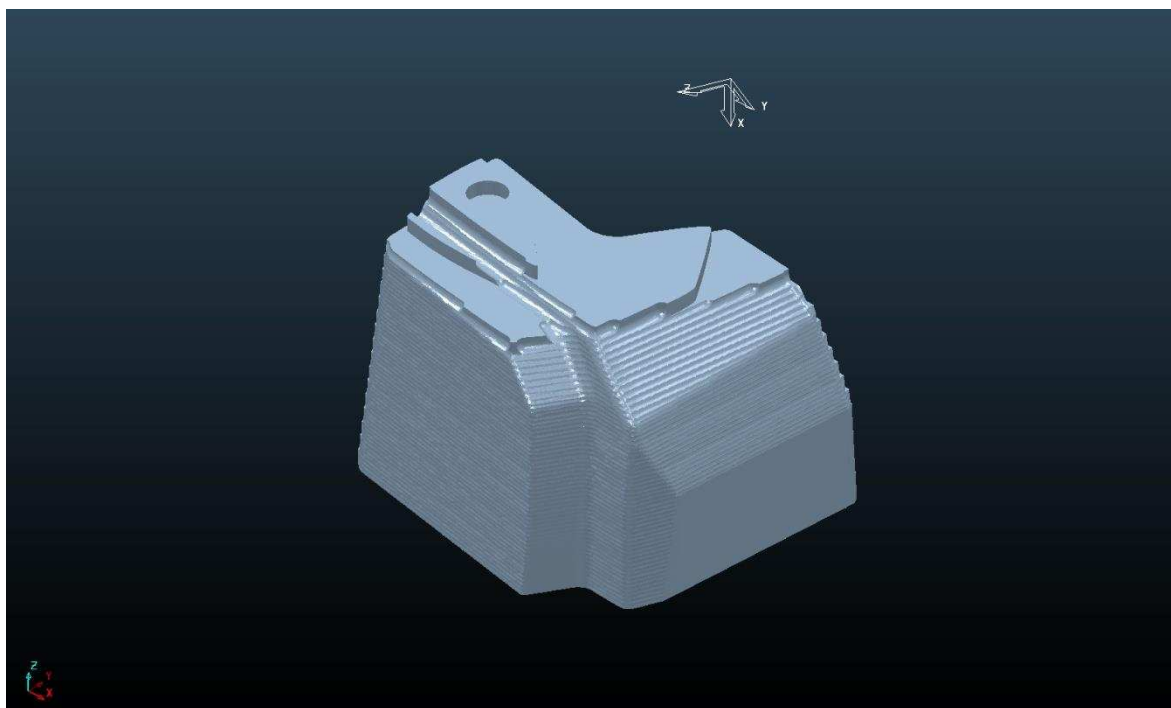
Obr. 2.10 Před-dokončení strmé plochy pravého boku.



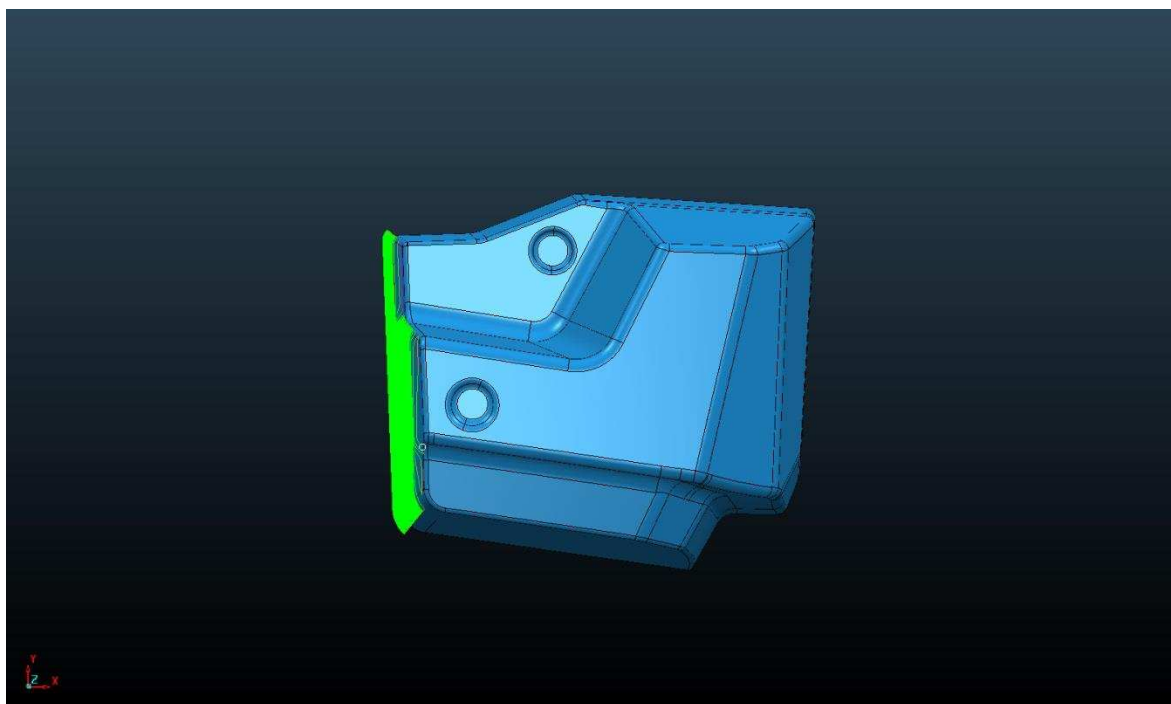
Obr. 2.11 Zbytkový materiál po před-dokončení strmé plochy pravého boku.



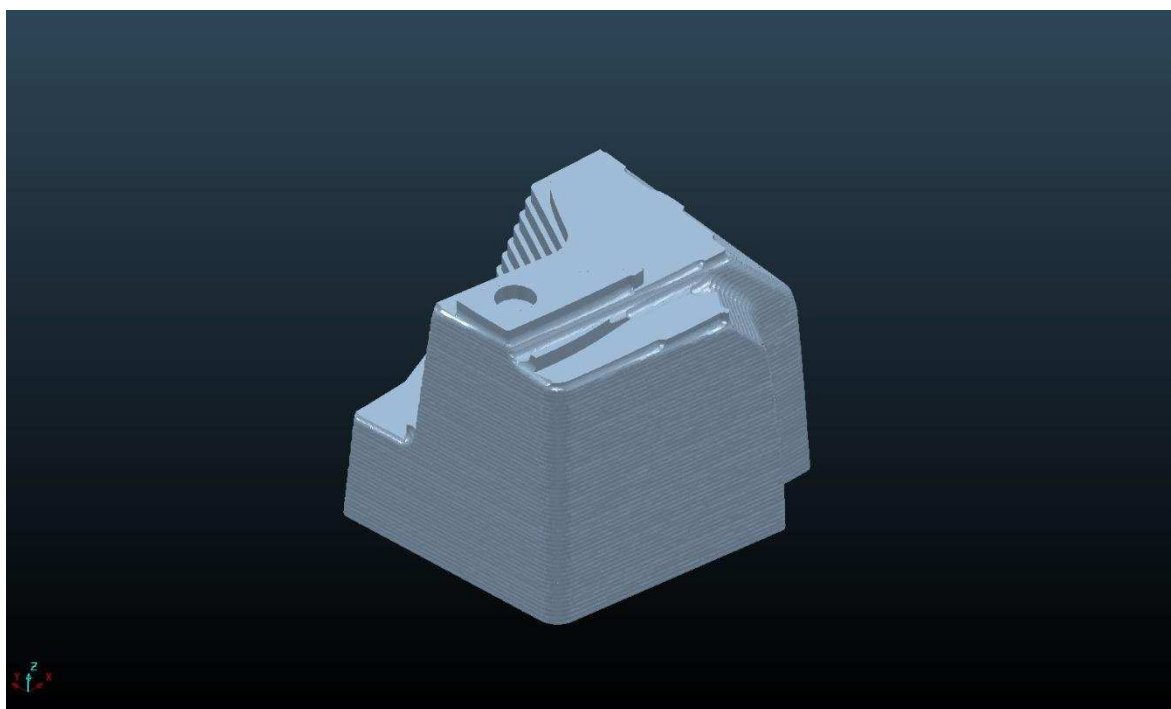
Obr. 2.12 Před-dokončení strmé plochy přední části.



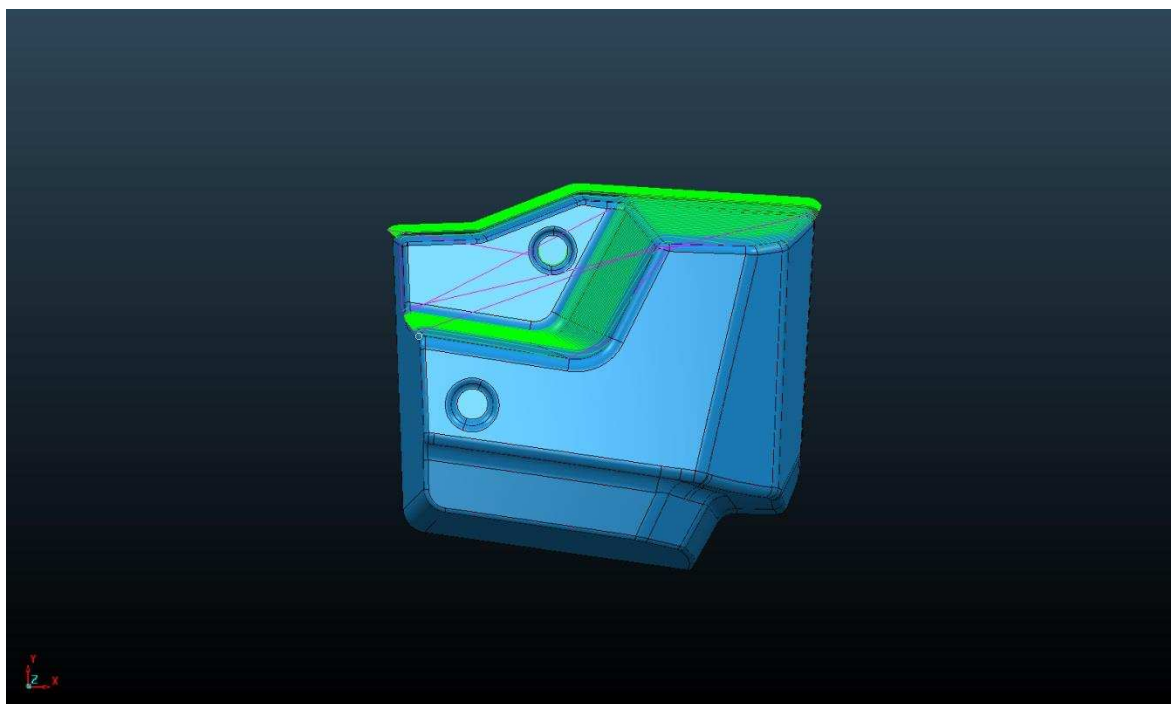
Obr. 2.13 Zbytkový materiál po před-dokončení strmé plochy přední části.



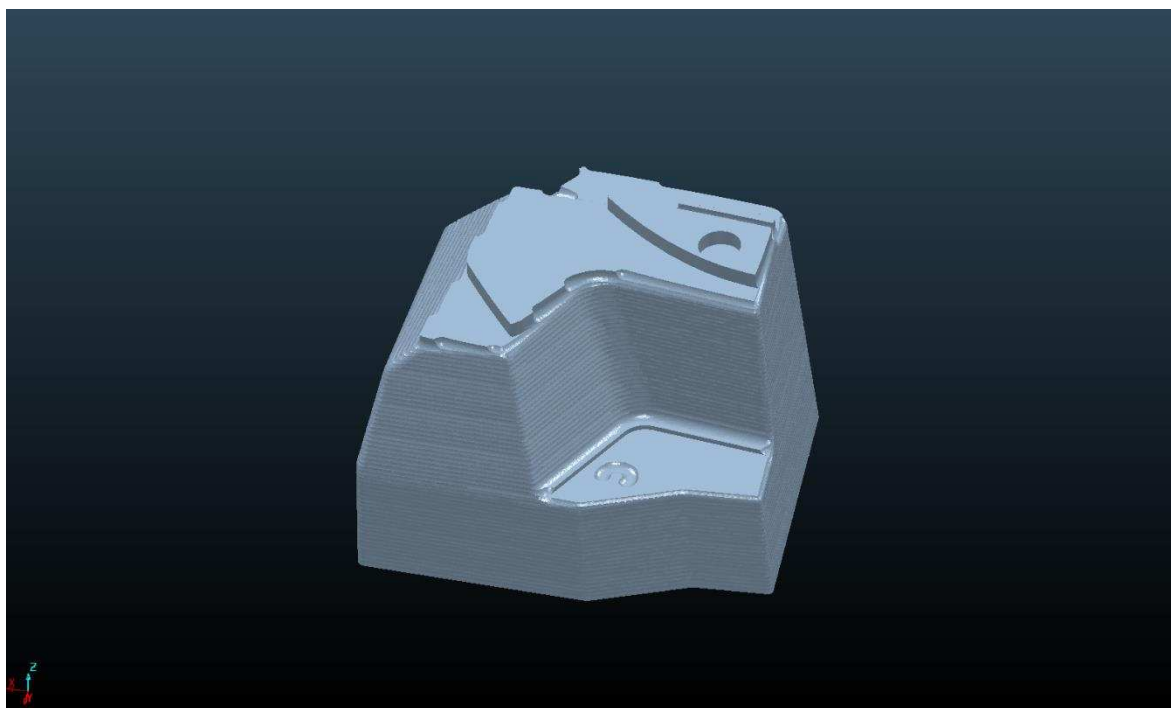
Obr. 2.14 Před-dokončení strmé plochy levého boku.



2.15 Zbytkový materiál po před-dokončení strmé plochy levého boku.



2.16 Před-dokončení strmé plochy zadní části.



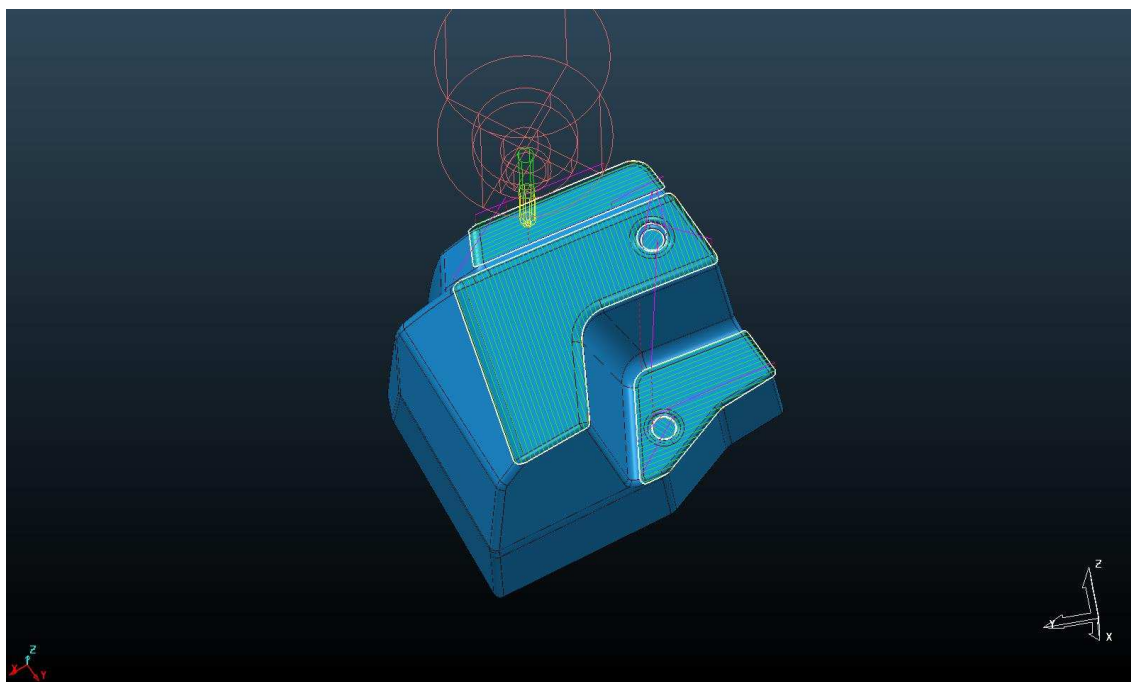
2.17 Zbytkový materiál po před-dokončení strmé plochy zadní části.

Před-dokončení mělkých ploch

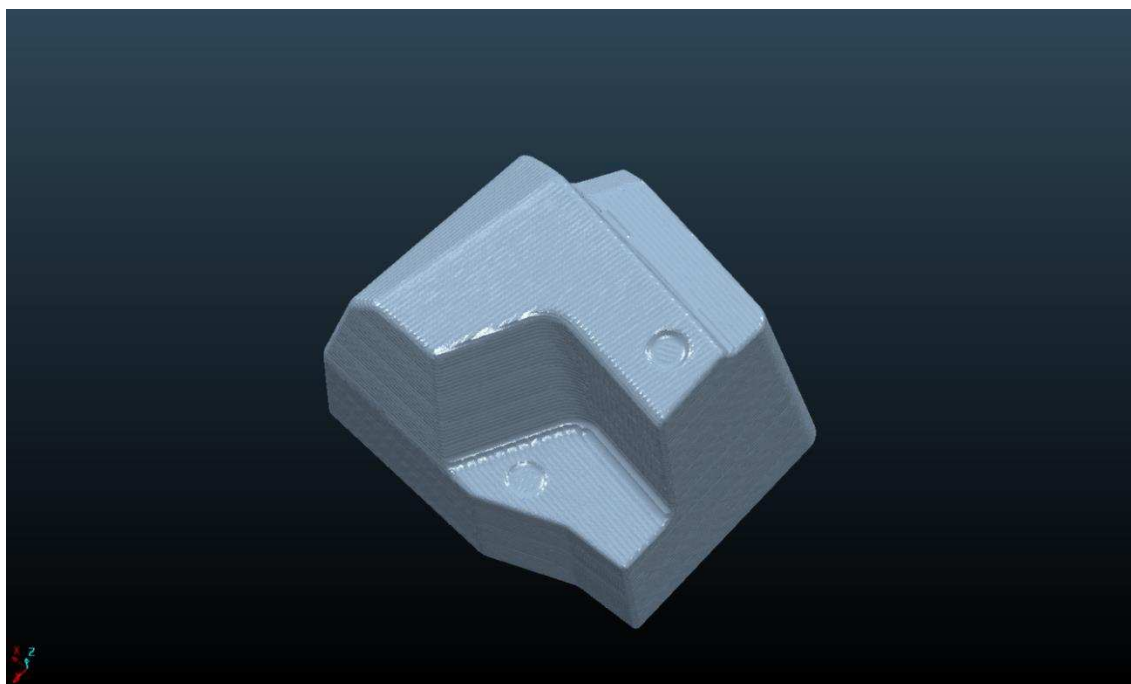
Pro před-dokončení mělkých ploch byly nastaveny řezné podmínky dle tab. 2.5. Dráhy nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.18 a zbytkový materiál na obr. 2.19.

Tab. 2.5. Řezné podmínky při před-dokončování rovinných ploch.

Přídavek [mm]	Krok [mm]	Krok v ose Z [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Rychlost posuvu [mm/min]	Nástroj
0,8	5	-	10 000	9 500	2



Obr. 2.18 Před-dokončení mělkých ploch.



Obr. 2.19 Zbytkový materiál po před-dokončení mělkých ploch.

2.4.3 Dokončovací operace

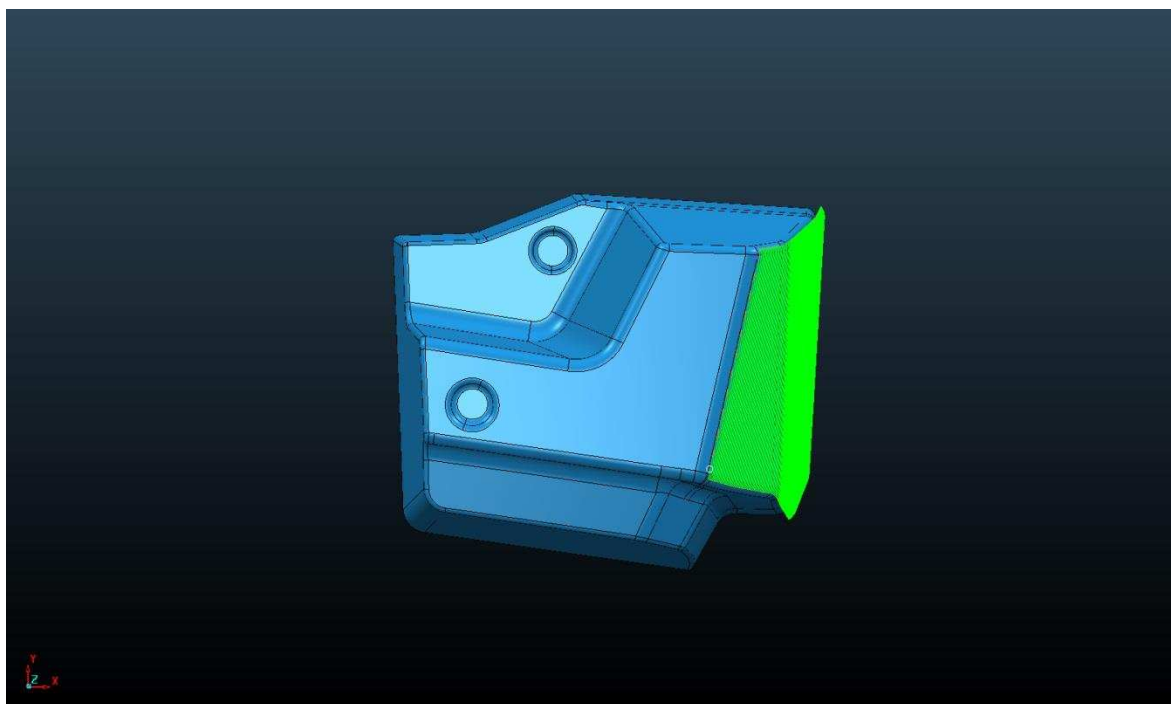
Dokončovací operace byly stejné s před-dokončovacími, pouze s rozdílným krokem, bez přídavku a jiným posuvem. Na závěr obrábění bylo nutné frézou s menším průměrem odebrat zbytky materiálu v oblastech nepřístupných pro dříve použité nástroje a rýsovací jehlou vyznačit ořezovou čáru.

Dokončení strmých ploch

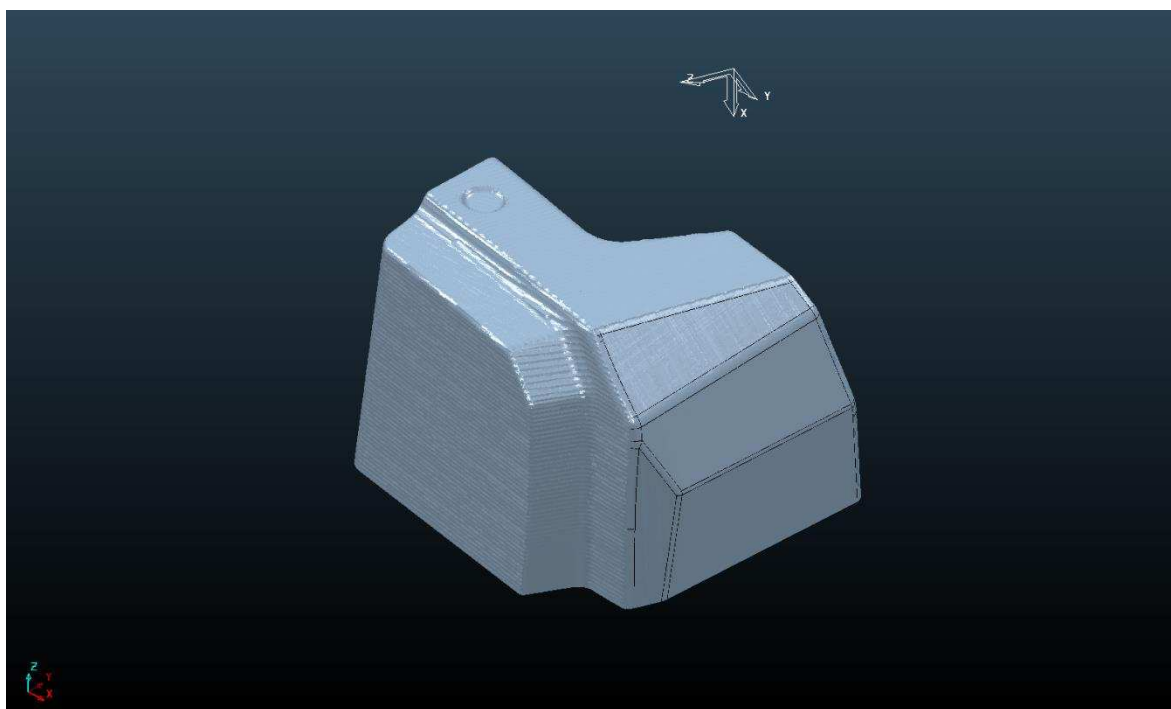
Pro dokončení strmých ploch byly nastaveny řezné podmínky dle tab. 2.6. Dráhy nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.20, obr. 2.22, obr. 2.24 a obr. 2.26. Zbytkový materiál na obr. 2.21, obr. 2.23, obr. 2.25 a obr. 2.27.

Tab. 2.6. Řezné podmínky při dokončování šikmých ploch.

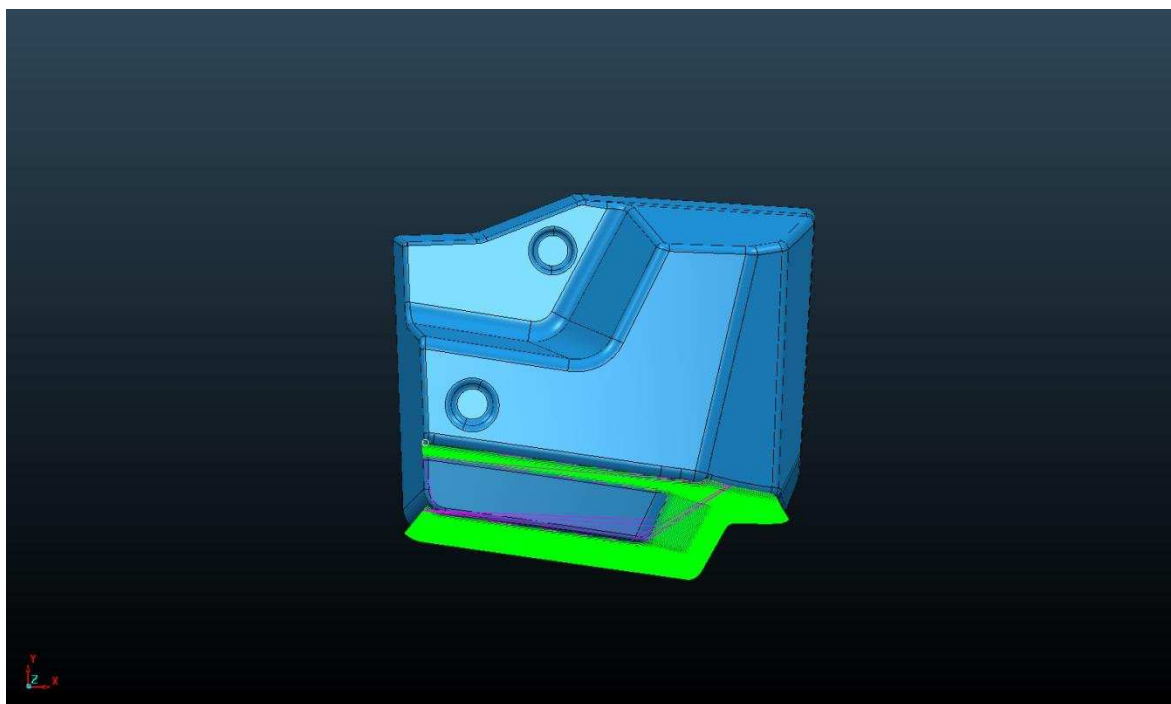
Přídavek [mm]	Krok [mm]	Krok v ose Z [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Rychlost posuvu [mm/min]	Nástroj
0	-	0,75	10 000	6 500	2



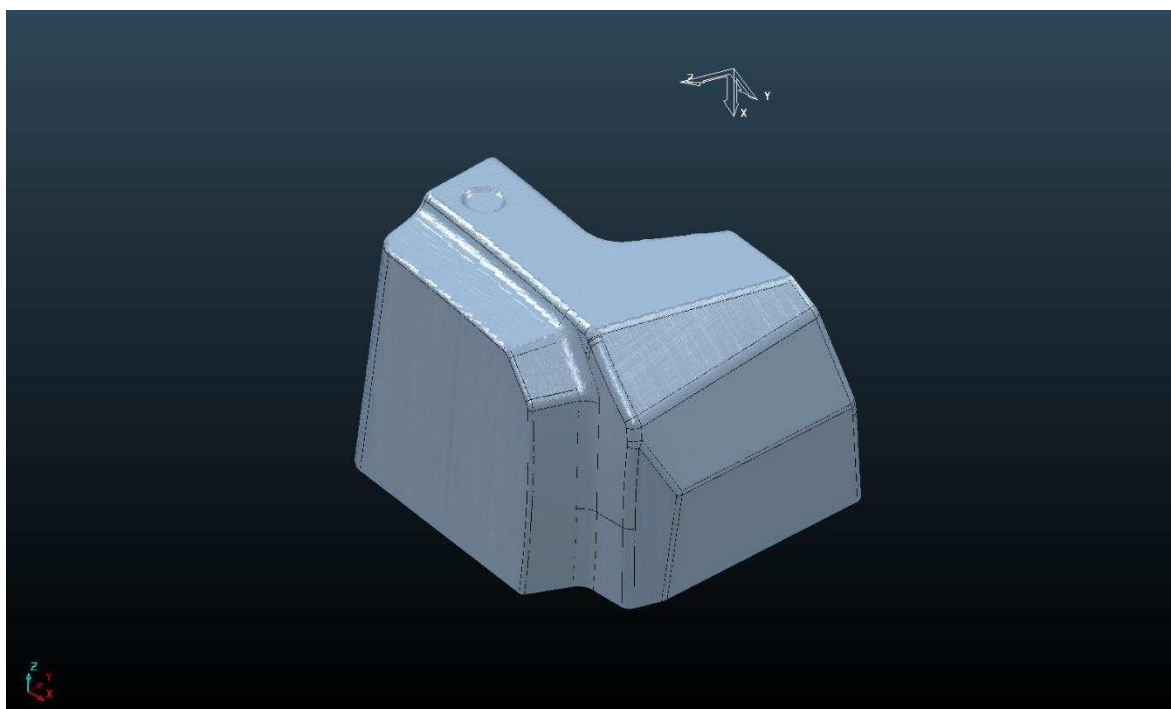
Obr. 2.20 Dokončení strmé plochy pravého boku.



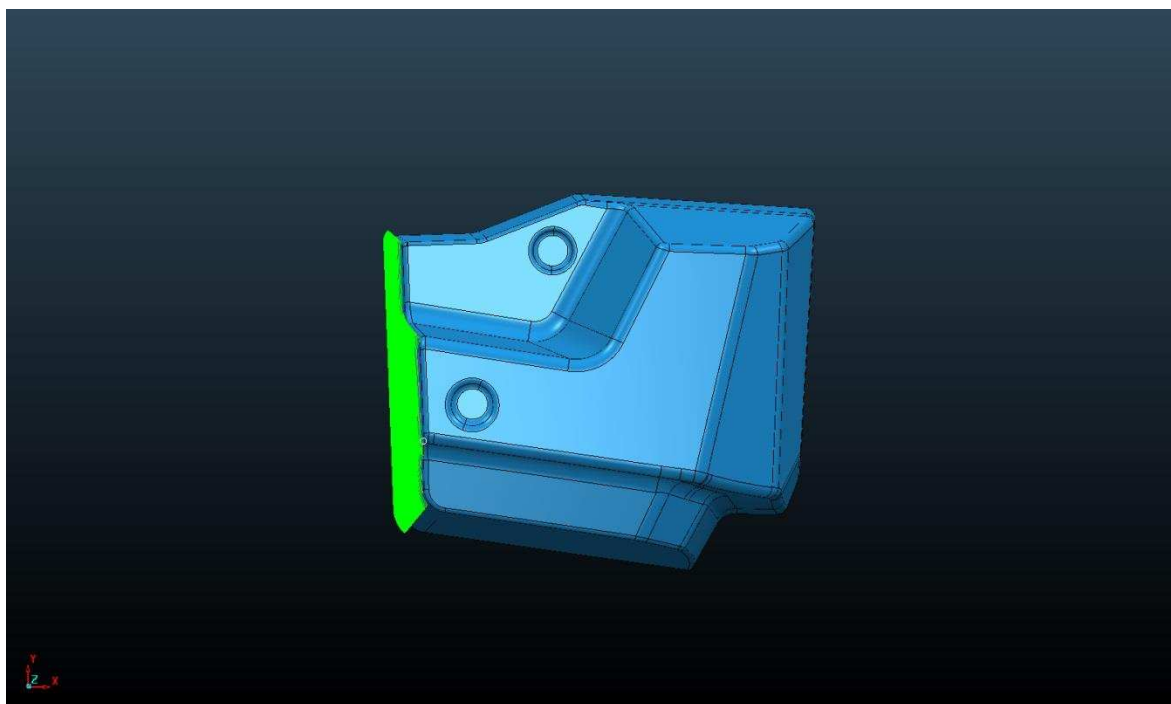
Obr. 2.21 Dokončená strmá plocha pravého boku.



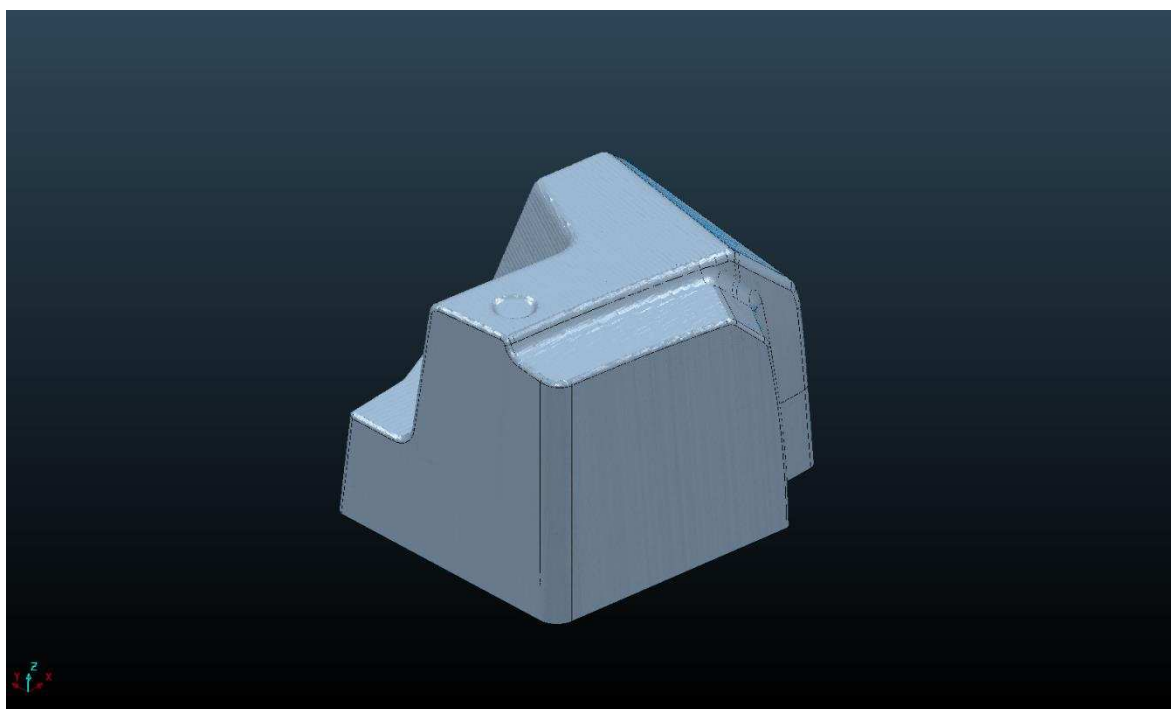
Obr. 2.22 Dokončení strmé plochy přední části.



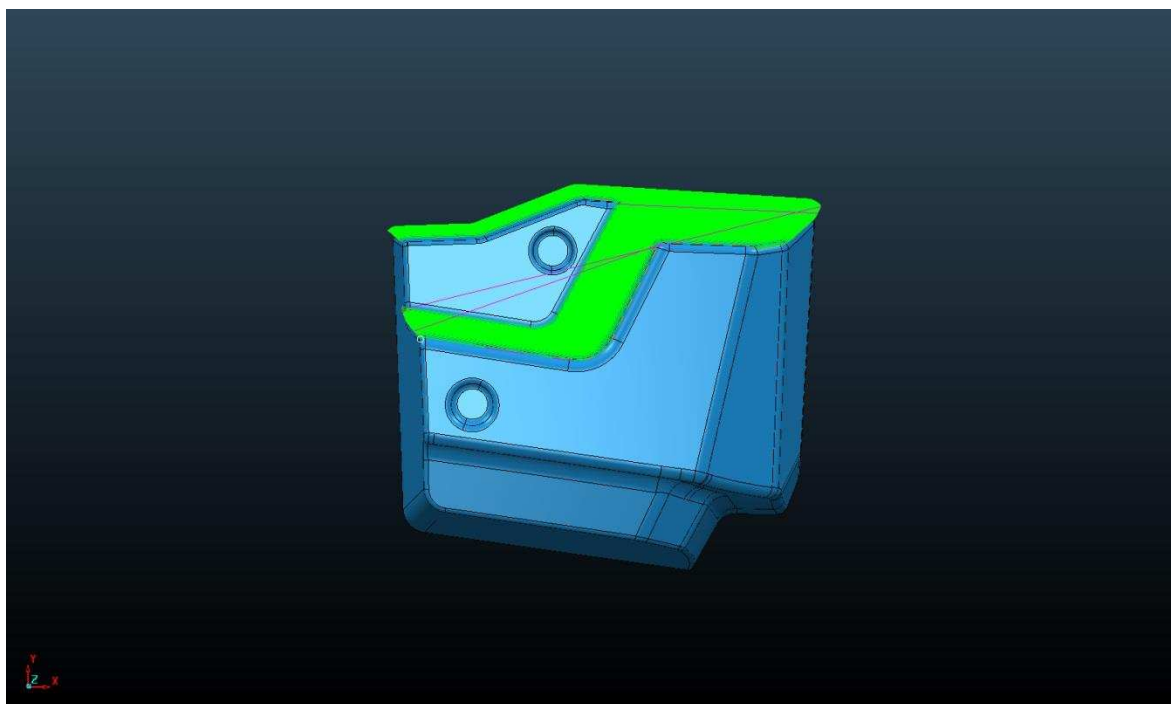
Obr. 2.23 Dokončená strmá plocha přední části.



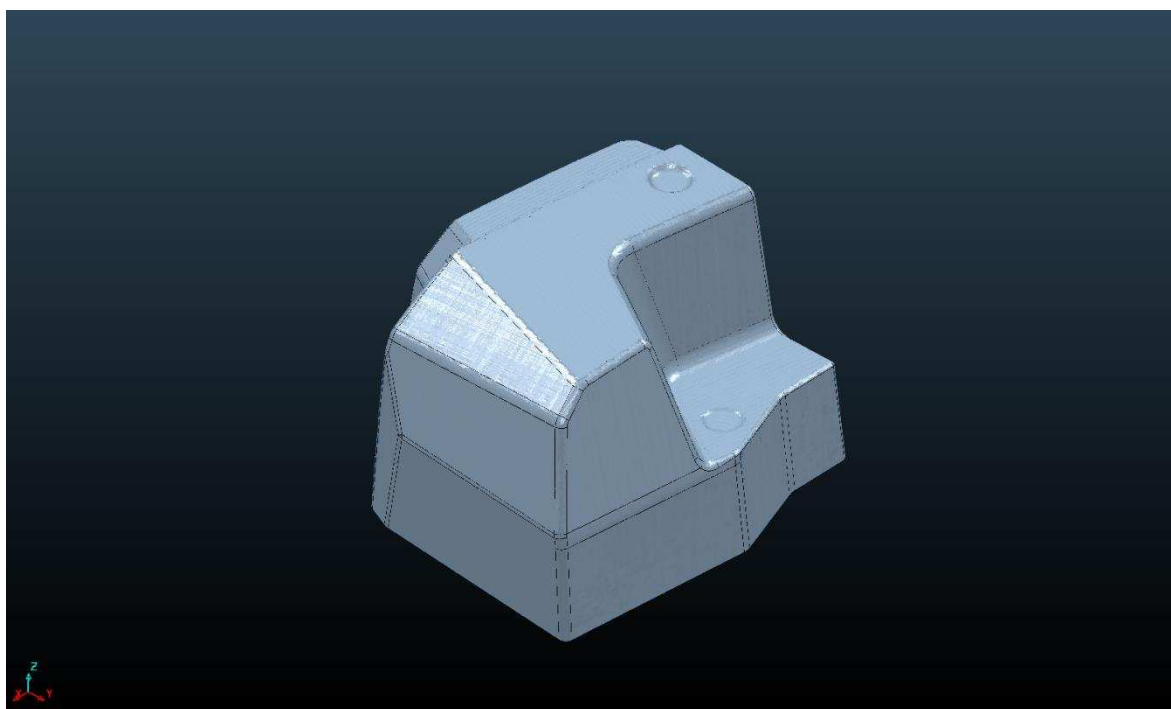
Obr. 2.24 Dokončení strmé plochy levého boku.



Obr. 2.25 Dokončená strmá plocha levého boku.



Obr. 2.26 Dokončení strmé plochy zadní části.



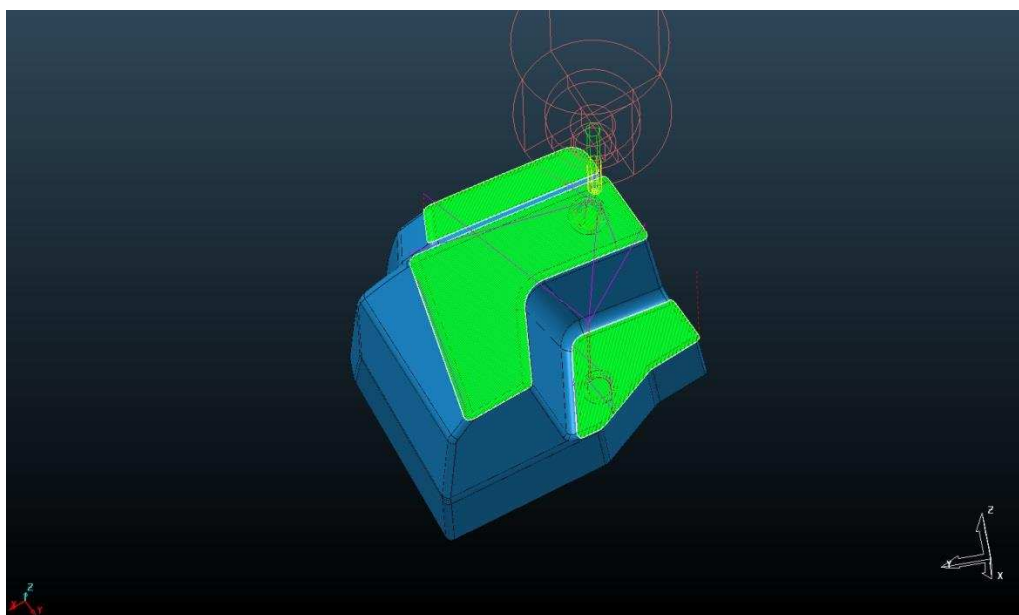
Obr. 2.27 Dokončená strmá plocha zadní části.

Dokončení mělkých ploch

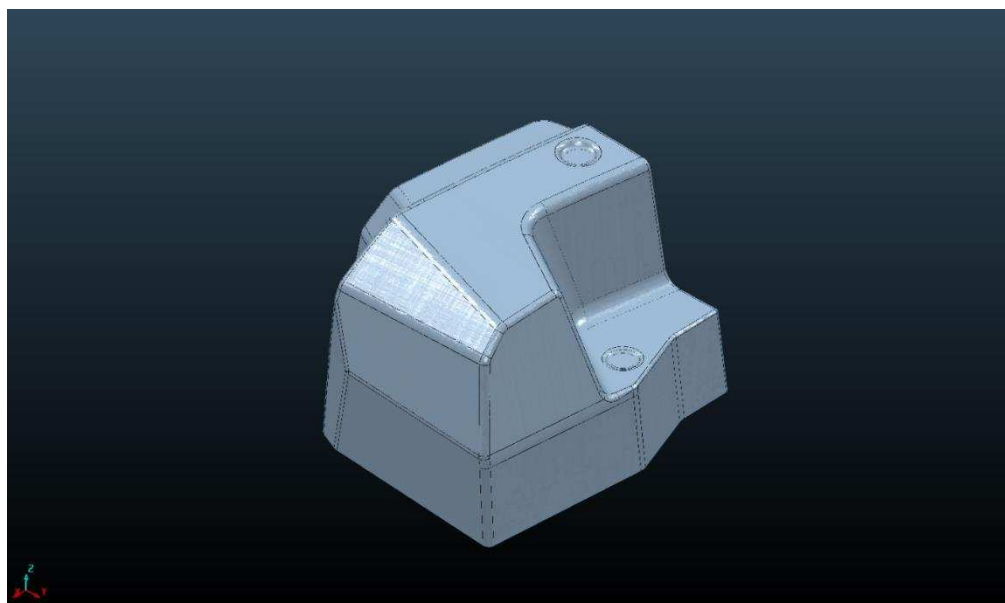
Pro dokončení mělkých ploch byly nastaveny řezné podmínky dle tab. 2.7. Dráhy nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.28 a zbytkový materiál na obr. 2.29.

Tab. 2.7. Řezné podmínky při dokončování rovinných ploch.

Přídavek [mm]	Krok [mm]	Krok v ose Z [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Rychlost posuvu [mm/min]	Nástroj
0	0,87	-	10 000	6 500	2



Obr. 2.28 Dokončení mělkých ploch.



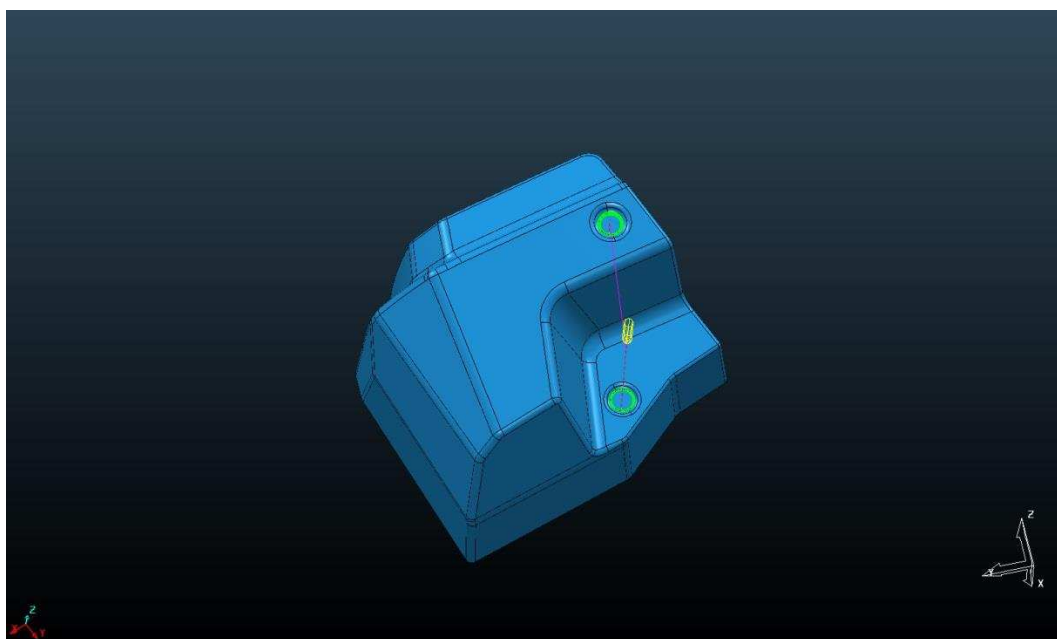
Obr. 2.29 Dokončené mělké plochy.

Frézování zbytkového materiálu

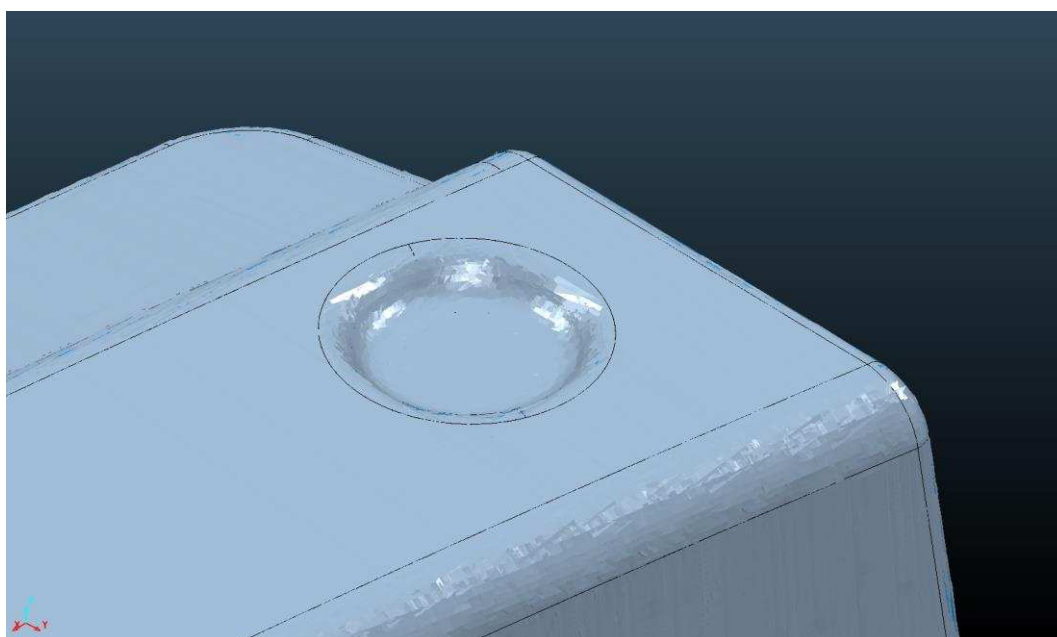
Pro vybrání zbytkového materiálu z formy byla zvolena strategie „Dokončení rohu“ a řezné podmínky nastaveny dle tabulky 2.8. Dráhy nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.30 a zbytkový materiál na obr. 2.31.

Tab. 2.8. Řezné podmínky při frézování zbytkového materiálu.

Přídavek [mm]	Překrytí [mm]	Stupeň drsnosti [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Rychlost posuvu [mm/min]	Nástroj
0	0,25	0,017	10 000	3 000	3



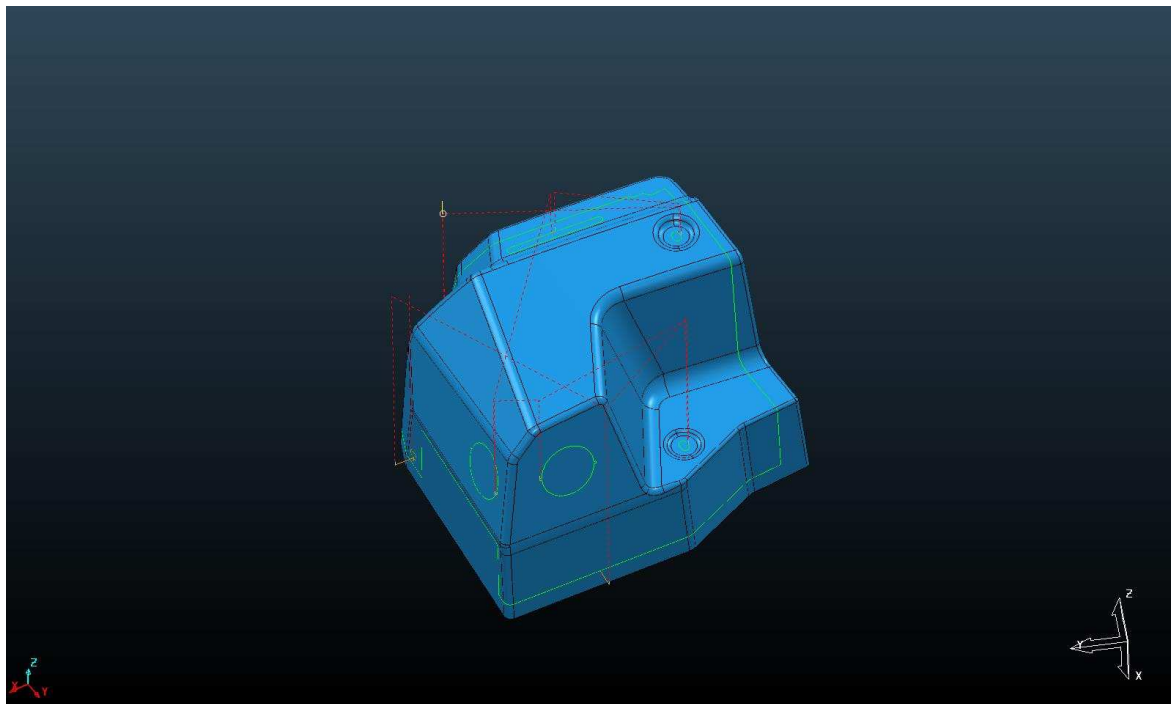
Obr. 2.30 Frézování zbytkového materiálu.



Obr. 2.31 Odebraný zbytkový materiál.

Obrábění kontury

Pro frézování kontury byla zvolena strategie „Dokončení křivkou“. Pro samotné frézování bylo nutné využít speciálního ořezového přípravku upnutého do vřetena stroje, který umožnil vyklonění a natačení nástroje dle aktuálních potřeb. Z důvodu zachování firemního „know-how“ nebude přípravek více popsán. Dráhy nástroje jsou zobrazeny na obr. 2.32.



Obr. 2.32 Obrábění kontury.

2.5 Lakování formy

Povrch obrobené součásti z MDF desek není i při nastavení jemného kroku a vysoké přesnosti obrábění dostatečně kvalitní. Struktura povrchové vrstvy materiálu je nástrojem narušena a dochází k uvolňování jednotlivých vláken dřeva. Proto je nutné před lakováním obrobek obrousit, aby se povrch sjednotil. Dalším důvodem k obroušení povrchu je fakt, že finální broušení povrchu na požadovanou drsnost k tváření plastu trvá mnohem déle z důvodu mnohonásobně vyšší otěruvzdornosti nalakovaného povrchu oproti čistému dřevu.

Broušení před lakováním se provádí smirkovým papírem o drsnosti P80. Dle velikosti formy se využívá ručních brusek, nebo pouze ručního broušení. Jelikož vyráběná forma neobsahovala žádné velké rovinné plochy, byla obroušena pouze ručně.

Obroušená forma byla lakována epoxidovou pryskyřicí. Lakování se provádí z důvodu zvýšení tepelné odolnosti a otěruvzdornosti formy, protože tažení plastů probíhá při teplotách až 160 °C. Lakování bylo provedeno ručně štětcem. Po nanesení dostatečné vrstvy pryskyřice byla forma ponechána k vytvrdnutí po dobu 24 hodin při teplotě alespoň 15 °C.

Vytvrzená forma byla opět obroušena ručně smirkovým papírem, nyní ale o drsnosti P100.

2.6 Vrtání odvzdušňovacích kanálků

Poslední operací, kterou bylo nutné provést na formě, bylo vrtání odvzdušňovacích kanálků.

Kanálky se do formy vrtají na místech, kde je pravděpodobné, že při přetahování plastu přes formu zůstane uvězněn vzduch a tento vzduch by způsobil vytažení odlišného tvaru, než má forma. Technologickým problémem kanálků je jejich potřebný průměr. Tento průměr je ovlivněn faktem, že hrana díry se nesmí promítnout do tvaru plastového výtazku. Z tohoto důvodu je nutné, aby kanálky měly menší průměr, než je tloušťka plastu. Nejčastější průměr kanálků je 1,2 mm, výjimečně lze použít i 1,6 mm. Jelikož se kanálky vrtají z povrchu až do základny formy, většinou běžně vyráběné délky vrtáků (125 mm) nestačí. Proto byly na zakázku objednány speciální prodloužené vrtáky, nebo se využívá speciální kopinatý vrtací drát. Vrtání se provádí elektrickou vrtáčkou. Vyvrtané kanálky je možno vidět na obrázku 2.33.



Obr. 2.33 Hotová forma s odvzdušňovacími kanálky.

3 TECHNICKO-EKONOMICKÝ ROZBOR

3.1 Cena formy

Celková cena formy se skládá z několika částí a hraje zásadní roli při rozhodování objednavatele, jaké firmě danou zakázku zadá. Musí tedy být volena s určitými zkušenostmi a rozvahou, neboť při složitějších formách se lze splést i o desítky tisíc korun. Následný výpočet ceny není postupem, který se využívá ve firmě, ale alternativou a někdy také kontrolou.

Celkovou cenu formy lze popsat jako součet dílčích nákladů na výrobu a zamýšleného zisku.

3.1.1 Cena materiálu

Na slepení polotovaru bylo třeba 15 desek o rozměrech 380 x 350 mm. Celková plocha těchto desek byla tedy zjištěna dle vztahu 3.1.

$$S_p = D_d \cdot \check{S}_d \cdot P_d \quad (3.1)$$
$$S_p = 0,380 \cdot 0,350 \cdot 15 = 1,995 \text{ m}^2$$

Kde:

S_p – plocha desek [m^2],

D_d – délka polotovaru [m],

\check{S}_d – šířka polotovaru [m],

P_d – počet desek v polotovaru [ks].

Z ceny jedné tabule bylo tedy možné spočítat cenu materiálu dle vztahu 3.2.

$$C_m = \frac{S_p}{S_d} \cdot C_d \quad (3.2)$$
$$C_m = \frac{1,995}{5,06} \cdot 900 = 355 \text{ Kč}$$

Kde:

C_m – cena materiálu [Kč],

S_d – plocha tabule ($5,06 \text{ m}^2$) [m^2],

C_d – cena tabule ($C_d = 900 \text{ Kč}$) [Kč].

3.1.2 Cena lepidla

Na slepení desek bylo využito půl lahve polyuretanového lepidla v ceně 275 Kč, tedy náklady na lepidlo jsou $C_l = 137,5 \text{ Kč}$.

3.1.3 Cena obrábění

V ceně hodiny provozu stroje jsou již započteny i náklady na nástroje, programování i energie. Cena obrábění byla spočtena dle vztahu 3.3.

$$C_o = C_{hp} \cdot P_h \quad (3.3)$$
$$C_o = 900 \cdot 5 = 4\,500 \text{ Kč}$$

Kde:

C_o – cena obrábění [Kč].

C_{hp} – cena hodiny provozu stroje ($C_{hp} = 900 \text{ Kč/hod}$) [Kč/hod].

P_h – počet obráběných hodin ($P_h = \text{hod}$) [hod].

3.1.4 Cena pryskyřice

Na napuštění formy bylo spotřebováno 0,5 kila pryskyřice. Při ceně 70 Kč za kilo pryskyřice byly tedy náklady na pryskyřici $C_{prs} = 35 \text{ Kč}$.

3.1.5 Cena ručních prací

Dokončovací ruční operace broušení a vrtání byly provedeny brigádníkem s hodinovou sazbou 100 Kč/hod. Dokončovací práce trvaly 9 hodin. Náklady na ruční práce $C_{ruč} = 900 \text{ Kč}$.

3.1.6 Výpočet ceny formy

Cena formy byla spočtena dle vztahu 3.4.

$$C_f = C_m + C_{lep} + C_o + C_{prs} + C_{ruč} \quad (3.4)$$
$$C_f = 355 + 137,5 + 4\,500 + 75 + 900 = 5967,5 \text{ Kč}$$

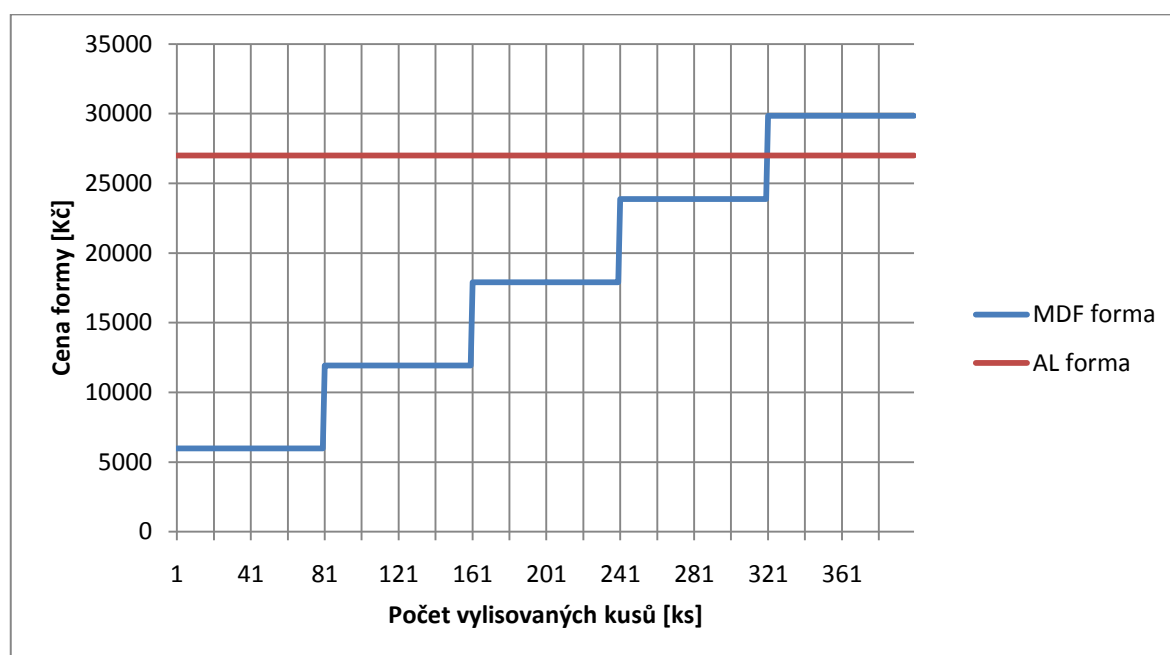
Kde:

C_f – cena formy. [Kč]

3.2 Ekonomické porovnání výrobních variant

Forma byla vyrobena z MDF desek namísto běžně používaného hliníku z důvodu nižší ceny materiálu. Pro testovací sérii je forma z MDF desek dostačující, protože bude použita k výrobě pouze několika kusů výlisků (cca 20 ks).

Pokud by se ale forma měla použít pro běžnou výrobu, bylo třeba zjistit, od kolika zamýšlených výlisků je výhodnější použít formu z hliníku namísto několika forem z MDF. Z grafické závislosti na obr. 3.1 je patrné, že formy z MDF desek jsou cenově výhodnější do 320 ks výlisků. Předpokládaná cena hliníkové formy je 27 000 Kč.



Obr. 3.1 Grafická závislost ekonomického porovnání výrobních variant.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout postup výroby vakuové formy pro tváření plastů dle modelu dodaného zákazníkem do firmy Libor Tišnovský.

V práci byla rozebrána technologie třískového obrábění, charakterizovány technologie soustružení a frézování. Dále byly v rámci teoretické části práce popsány nástrojové materiály a charakteristiky nástrojů pro frézování a soustružení.

Praktická část byla rozdělena do několika stěžejních oblastí, ve kterých byly definovány základní kroky při výrobě formy. První část obsahuje rozbor součásti a zamyšlení nad procesem výroby a konstrukcí formy. V druhé části byla zkonstruována forma ve 3D parametrickém softwaru SolidWorks za použití poznatků z první části a vysvětlen princip její tvorby z modelu součásti dodaného zákazníkem. Třetí oblastí praktické části práce byl navrhnout polotovár a byla popsána jeho příprava. Čtvrtou a nejobsáhlejší oblastí byla popsána tvorba programu pro CNC frézku, byly navrženy řezné podmínky a byly specifikovány strategie, které jsou vhodné pro výrobu součásti. Pátou oblastí začaly ruční práce na formě a byl vysvětlen důvod těchto prací, stejně jako specifikováno, čím tyto práce provádět. V poslední oblasti byl popsán proces vrtání odvodušňovacích kanálků.

Závěrem práce byla spočtena cena formy 5967,5 Kč. Vhodnou volbou materiálu bylo tedy ušetřeno 77,9 % nákladů oproti výrobě formy z hliníku.

Cíl práce byl splněn a ověřen, neboť vytvořený model i dráhy pro výrobu byly použity v reálné výrobě dané zakázky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-21-1996-2.
- [2] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění-kniha pro praxe*. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [3] HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [4] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [5] PÍŠKA, M. a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-24-4025-8
- [6] MATĚJKA, Petr. *Název: Nástroje pro soustružení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 47 s., 3 přílohy. doc. Ing. Anton Humár, CSc.
- [7] TRENS SK, A.S. *Univerzální hrotový soustruh TRENS řady SN 32*. [online]. In: . [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.trens.sk/sites/default/files/imce/images/trens_sn_32_50_71_sk.pdf
- [8] PIEKARSKI, Cassiano Moro, Antonio Carlos DE FRANCISCO, Leila Mendes DA LUZ, João Luiz KOVALESKI a Diogo Aparecido Lopes SILVA. Life cycle assessment of medium-density fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil. *Science of the Total Environment* [online]. Elsevier B.V, 2017, 575(1), 103-111 [cit. 2017-03-25]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.007. ISSN 00489697. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0048969716321738>
- [9] SAHOS S.R.O. *Návod na použití, obsluhu a údržbu 3,4 a 5-ti osého modelářského obráběcího centra na polystyren a dřevo typové řady SPRINT FC 2300 CNC A FC 2800 CNC*. Hrejkovice, 2001.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_α	[-]	Hřbet nástroje
A_γ	[-]	Čelo nástroje
C_d	[Kč]	Cena tabule
C_f	[Kč]	Cena formy
C_{hp}	[kč]	Cena hodiny provozu stroje
C_l	[kč]	Cena lepidla
C_m	[Kč]	Cena materiálu
C_o	[Kč]	Cena obrábění
C_{prs}	[Kč]	Cena pryskyřice
$C_{ruč}$	[Kč]	Cena ručních prací
D	[mm]	Průměr obráběné plochy
D_d	[m]	Délka polotovaru
D_n	[mm]	Průměr břitů frézy
d_n	[mm]	Průměr stopky frézy
f	[mm]	Posuv na otáčku obrobku
h	[mm]	Délka vyložení
L	[mm]	Celková délka frézy
l	[mm]	Délka ostří frézy
n	[min ⁻¹]	Otáčky obrobku
P_d	[ks]	Počet desek v polotovaru
P_h	[hod]	Počet obráběných hodin
S	[-]	Hlavní ostří nástroje
S'	[-]	Vedlejší ostří nástroje
S_e	[-]	Pracovní hlavní ostří
$S_{e'}$	[-]	Pracovní vedlejší ostří
S_p	[m ²]	Plocha desek
\dot{S}_d	[m]	Šířka polotovaru
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_f	[mm.min ⁻¹]	Posuvový pohyb

CAM Computer Aided manufacturing

CNC Computer Numerical control

MDF Dřevovláknitá deska

NbC Karbid niobu

SK Slinutý karbid

TaC Karbid tantalu

TiC Karbid titanu

WC Karbid wolframu